

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO COMBINADO CON
CÁMARA DE ÓSMOSIS Y BAÑO CON SULFITOS PARA LA
DESHIDRATACIÓN DE MANGO EN EL NORTE DEL PERÚ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR
GUSTAVO ALONSO PACHECO PISCOYA**

**ASESOR
LUCIO ANTONIO LLONTOPE MENDOZA
<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>**

Chiclayo, 2020

**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO COMBINADO
CON CÁMARA DE ÓSMOSIS Y BAÑO CON SULFITOS
PARA LA DESHIDRATACIÓN DE MANGO EN EL NORTE
DEL PERÚ**

PRESENTADA POR:

GUSTAVO ALONSO PACHECO PISCOYA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADO POR

Amado Aguinaga Paz
PRESIDENTE

Hugo Walter Mundaca Guerra
SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza
ASESOR

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a mis padres Yeny Piscoya León y Carlos Pacheco Fernández, por el esfuerzo que hicieron para que sea una persona de bien y brindarme una excelente educación. A mi esposa Sarait e hijas Alondra y Samantha por brindarme cada momento de felicidad en mi vida y la fuerza necesaria para alcanzar mis metas e ideales, y a Dios por guiarme en el camino correcto.

AGRADECIMIENTO

A ti, mi Señor, mi agradecimiento eterno por la Gracia de Tu amor, por mostrarme el milagro de la vida y motivarme hasta alcanzar este primer y gran paso profesional.

Mi profundo agradecimiento a mis docentes, asesores y gerentes conocedores de la industria metalmecánica, que contribuyeron con su tiempo y sabiduría a lo largo de la realización de este trabajo de investigación.

Agradezco a mis queridos amigos, que marcaron mi vida universitaria con un sello de alegría, compartiendo conocimientos, metas y prometiendo reunirnos en cada oportunidad.

RESUMEN

El mango como fruto fresco con alta composición de agua es muy susceptible a los procesos que se realizan para su conservación, en el mundo se han desarrollado técnicas para la conservación como la deshidratación del fruto en varias versiones. En el Perú actualmente solo se conoce su producción por deshidratado solar.

En el presente trabajo de investigación, se realiza el rediseño de un sistema de secado combinado para mejorar la técnica de deshidratado de pulpa de mango y aplicar correctamente los factores de calidad mediante el diseño mecánico de una cámara, cuyo objetivo es reducir el tiempo de secado a temperatura constante, manteniendo sus grados °BRIX y evitando la formación de actividad bacteriana.

Los criterios para el diseño de la cámara se basan en los procesos: la selección adecuada de materia prima; el lavado, pelado y cortado, luego en la cámara de ósmosis, se calentó la solución sacarosa de 70° BRIX a 80°C durante 1 hora aproximadamente mediante un baño maría, para lograr su solubilización y así ingresar las rodajas de mango al tratamiento, al mismo tiempo los sulfitos agregados a la solución se encargarán de evitar el oscurecimiento de la fruta y el crecimiento de hongos o bacterias. La totalidad del sistema de secado se cubre con la selección de un secador que trabaja con aire sobrecalentado y la selección de los equipos auxiliares.

Se concluye que este rediseño constituye una herramienta apropiada para aumentar la producción de fruta fresca deshidratada en el norte del Perú.

Palabras clave: Pulpa de mango, ósmosis, baño maría, diseño mecánico, cámara, secador, equipos auxiliares.

ABSTRACT

Mango as a fresh fruit with a high composition of water is very susceptible to the processes that are carried out for its conservation, in the world techniques for conservation have been developed such as dehydration of the fruit in various versions. In Peru, currently only its production by solar dehydration is known.

In the present research work, a redesign of a combined drying system is carried out to improve the mango pulp dehydration technique and correctly apply the quality factors through the mechanical design of a chamber, whose objective is to reduce the drying time at a constant temperature, maintaining its BRIX degrees and avoiding the formation of bacterial activity.

The criteria for the design of the chamber are based on the processes: the adequate selection of raw material; washing, peeling and cutting, then in the osmosis chamber, the sucrose solution was heated from 70 ° BRIX to 80 ° C for approximately 1 hour using a water bath, to achieve its solubilization and thus enter the mango slices into the treatment, at the same time, the sulfites added to the solution will take care of preventing the darkening of the fruit and the growth of fungi or bacteria. The entire drying system is covered with the selection of a dryer that works with superheated air and the selection of auxiliary equipment.

It is concluded that this redesign constitutes an appropriate tool to increase the production of fresh dehydrated fruit in the north of Peru.

Keywords: Mango pulp, osmosis, water bath, mechanical design, chamber, dryer, auxiliary equipment.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. OBJETIVO	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Estado del arte	17
2.1.1. Productos similares existentes	17
2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes	21
2.1.3. Planteamiento del problema	21
2.1.4. Requerimientos del diseño	26
2.2. Bases teóricas científicas	33
2.2.1. Descripción general del mango	33
2.2.2. Data de producción de mango seco en la región.....	35
2.2.3. Tratamientos Químicos.....	40
2.2.4. Transferencia de calor por convección natural	43
2.2.5. Descripción general de secado.....	45
2.2.6. Descripción general de equipo de control de procesos.....	51
2.2.7. Descripción general de Sensor de temperatura	53
2.2.8. Descripción general de resistencias eléctricas para calentamiento.....	54
2.2.9. Descripción general de tecles mecánicos	55
III. DISEÑO	57
3.1. Definición de la metodología a seguir	57
3.2. Diseño de cámara para ósmosis y baño con sulfitos	58
3.2.1. Cálculo para el dimensionamiento.....	58
3.2.2. Selección de elementos del sistema de secado	67
3.2.3. Metrado.....	86

3.2.4. Balance de energía (primera ley de la termodinámica)	93
IV. ESTIMACIÓN DE COSTOS CON RELACIÓN AL DISEÑO	97
4.1. Material a considerar en el diseño	97
4.2. Análisis económico del proyecto	99
4.2.1. Determinación del VAN y TIR para la viabilidad del proyecto.....	99
V. CONCLUSIONES.....	102
VI. RECOMENDACIONES	103
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
VIII. ANEXOS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Deshidratador con infrarrojos lejanos	18
Figura 2 Equipo deshidratador Excalibur.....	19
Figura 3 Deshidratador Klimatechnik	19
Figura 4 Diagrama de flujo del proceso de producción del mango deshidratado.	22
Figura 5 Selección de la materia prima a procesar.....	23
Figura 6 Pelado y cortado del mango.....	24
Figura 7 Recepción de las tajadas de mango.....	24
Figura 8 Tajadas de mango sobre bandejas, ingresando al equipo de secado.....	25
Figura 9 Diagrama de flujo de la preparación de la solución osmótica	28
Figura 10 Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de mango criollo.	29
Figura 11 Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de mango criollo.....	30
Figura 12 Pérdida de masa durante la deshidratación osmótica de mango criollo.....	30
Figura 13 Termoresistencia RTD PT100 clase A.....	32
Figura 14 Estructura de la PT100.....	33
Figura 15 Modelos de interacción gas-sólido en los sólidos.....	47
Figura 16 Secador de bandejas	48
Figura 17 Secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente	49
Figura 18 Secador de túnel con banda transportadora.....	49
Figura 19 Diagrama esquemático de un secador rotatorio	50
Figura 20 Esquema de control básico.....	52
Figura 21 Resistencias para inmersión	55
Figura 22 Resistencias con bridas	55
Figura 23 Uso del teclé mecánico	56
Figura 24 Diagrama de flujo detallando cada una de las etapas del diseño	57
Figura 25 Dimensiones de cilindro C1	60
Figura 26 Dimensiones de cilindro C2.....	61
Figura 27 Dimensiones de vigas para C1	63
Figura 28 Dimensiones de soportes para C2	63

Figura 29 Descripción de fuerzas en la viga	64
Figura 30 Barras solidas de Acero inoxidable.....	66
Figura 31 Dimensionamiento de mallas para almacenar rodajas de pulpa de mango.....	67
Figura 32 Propiedades del agua a 85°C.....	69
Figura 33 Propiedades del aire a la presión de 1 atm.....	73
Figura 34 Resistencia forma 3U con doble vuelta.	78
Figura 35 Selección de resistencia adecuada a la cámara.	78
Figura 36 Teclé Eléctrico Cadena.	79
Figura 37 Teclé palanca.....	79
Figura 38 PID Eurotherm 3216.	82
Figura 39 PID Autonics TZ4ST.	82
Figura 40 Modelos de PT100	83
Figura 41 Configuración de fajas	84
Figura 42 Faja transportadora Dorner serie 3200.....	85
Figura 43 Faja transportadora Dorner serie serie 7200 – 7300	85
Figura 44 Faja transportadora Dorner serie serie 7360	85
Figura 45 Material para el cilindro C1	86
Figura 46 Material para tapa baja de cilindro C1	87
Figura 47 Material para platina de tapa de cilindro C1	88
Figura 48 Material para el cilindro C2	89
Figura 49 Material para tapa baja de cilindro C2	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de los aceros inoxidable.....	26
Tabla 2 Propiedades de los aceros inoxidable.....	27
Tabla 3 Resultados obtenidos en la deshidratación osmótica del mango criollo en rodajas con jarabe de sacarosa a 70°BRIX.	29
Tabla 4 Tolerancia de propiedades para cada clase de PT100.	32
Tabla 5 Composición nutricional de la pulpa del mango criollo.....	35
Tabla 6 Producción de mango en el Perú desde el año 2012 al 2016.....	36
Tabla 7 Producción de mango en Lambayeque desde el año 2012 – 2016	37
Tabla 8 Propiedades de los materiales utilizados en termoresistencias.....	53
Tabla 9 Especificaciones técnicas de teclas.....	80
Tabla 10 Comparación de equipos de deshidratado	81
Tabla 11 Controladores PID	82
Tabla 12 Fajas transportadoras DORMER	84
Tabla 13 Material utilizado en el diseño de C1 y C2.....	90
Tabla 14 Barras sólidas de acero utilizadas en el diseño.....	91
Tabla 15 Cantidad de soldadura para el diseño de la cámara	92
Tabla 16 Material utilizado para el diseño	97
Tabla 17 Soldadura a utilizar en el diseño.....	98
Tabla 18 Descripción del costo por metro de soldadura	99
Tabla 19 Inversión del proyecto	99
Tabla 20 Gastos Anuales	100
Tabla 21 Consumo Energético.....	100
Tabla 22 Costo de generación y precio de venta del producto	101
Tabla 23 Estimación del VAN y TIR.	101

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Producción de mango en el Perú 2012 – 2016	36
Gráfica 2 Producción en toneladas de mango en Lambayeque.	37
Gráfica 3 Rendimiento de toneladas métricas por hectárea en la región.	38
Gráfica 4 Calores específicos de la solución sacarosa a distintas temperaturas.....	93
Gráfica 5 Calores específicos del agua a distintas temperaturas.	94

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Pérdida porcentual de agua.....	42
Ecuación 2: Ganancia porcentual de sólidos.....	42
Ecuación 3 Pérdida porcentual de masa.....	42
Ecuación 4 Número de Grashoff.....	43
Ecuación 5 Número de Nusselt.....	44
Ecuación 6 Numero de Rayleigh.....	44
Ecuación 7 Ley de Newton del enfriamiento.....	45
Ecuación 8 Valor de resistencia en ohmios a t °C.....	53
Ecuación 9 Volumen resultante.....	59
Ecuación 10 Volumen de un cilindro.....	59
Ecuación 11 Momento rectangular de inercia.....	64
Ecuación 12 Ecuación de la curva elástica.....	65
Ecuación 13 Coeficiente individual de transferencia de calor.....	70
Ecuación 14 Balance de energía para sistemas de cerrados.....	93
Ecuación 15 Primera ley de la termodinámica.....	95
Ecuación 16 Tiempo de calentamiento.....	95

I. INTRODUCCIÓN

Según el MINAGRI, las repercusiones que tienen las frutas en territorio norteño, como el calor que conlleva a la facilidad de putrefacción de la fruta, y la calidad de los procesos de producción o exportación. Generan significativas pérdidas y obligan al productor a optar por nuevas vías de transformación para su conservación, siendo la fruta más afectada, el mango. En respuesta surge la opción de deshidratarla y exportarla.

Entre las técnicas de deshidratación más comunes en el norte peruano, están deshidratado con aire sobrecalentado, deshidratado al aire libre y deshidratado solar.

Por eso, este trabajo de investigación se inició debido a la falta de adecuación tecnológica en las técnicas de deshidratación de frutas.

Se busca diseñar una cámara que trabaje con un compartimiento para el baño maría y otro con menor área; para la solución sacarosa, el baño maría recibirá poder calorífico mediante unas resistencias eléctricas, activadas y dirigidas por un controlador PID. Este mismo mediante transferencia de calor preparará la solución para la deshidratación osmótica de las rodajas de mango. Nos apoyaremos en la herramienta computacional SolidWorks, para el diseño CAD.

El diseño de esta tecnología agregado a un sistema de secado ya existente, tendrá como finalidad, optimizar la producción de fruta deshidratada y una buena calidad del producto. Además, promover el avance tecnológico en esta rama de investigación que viene siendo el diseño mecánico-térmico de equipos para procesos de industrias alimentarias.

1.1. OBJETIVO

Objetivo general

Rediseñar un sistema de secado combinado con una cámara de osmosis y baño con sulfitos para la deshidratación de mango en el norte del Perú.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de la tecnología de secado y determinar la producción de mango fresco en la región.
- Definir el proceso de producción del mango deshidratado.
- Diseñar el sistema de secado efectuando los cálculos de ingeniería.
- Desarrollar un análisis económico para determinar la factibilidad del proyecto.

1.2. JUSTIFICACION

Justificación tecnológica:

El desarrollo de esta investigación implica resolver diferentes problemas en la ingeniería de secado: Cubrir la falta de tecnología de deshidratado que trabaja a través de tratamientos químicos, el control automático de temperatura y la optimización del proceso general de deshidratado de frutas.

Justificación económica:

Se estima que la tecnología a diseñar podría ser más simple y más barata que las soluciones tecnológicas y técnicas encontradas en el mercado actual.

Se estima que el costo de la fabricación de la cámara es bajo y viable, en proporción a que se reducirá en gran medida el grupo humano que abarca todo el proceso de producción y también aumentará la cantidad de producción de mango deshidratado.

Justificación ambiental:

Optimización en el consumo de energía a través del ahorro de la misma, basado en la disminución del tiempo de trabajo de las máquinas.

La eliminación de la solución osmótica y el baño maría no tienen ningún impacto ambiental ya que están constituidas en su totalidad de agua.

Justificación social:

El diseño de este sistema de secado se presenta como una opción de bajo costo y accesible para los procesos de industrias alimentarias, de los pequeños y medianos productores de la fruta del mango en el norte del Perú.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

2.1.1. Productos similares existentes

Como parte de este trabajo de investigación, la selección del equipo de secado es obligatorio. A continuación, se resumen los distintos tipos de secadores que se utilizan para la fruta fresca y la pulpa.

2.1.1.1. Tecnología de secado actual que presenta la industria en el Perú.

A. Deshidratador de 20 bandejas (modelo IRCDi20) de la marca Inconfort

Trabaja con bandejas de 900 x 1750 mm (capacidad productiva de 31,5 m^2), cada bandeja va dotada de su propio emisor. El equipo consta de un control independiente por cada bandeja mediante PLC, lo que permite deshidratar diferentes tipos de productos en cada una de ellas, ya que se puede programar la temperatura adecuada de deshidratado para que el producto final mantenga todas sus propiedades organolépticas intactas, fundamentalmente aromas y sabor que se encuentran totalmente potenciados.

Es un equipo compacto y de grandes prestaciones con un consumo bajo, adecuado para empresas que necesiten en su elaboración de productos, fruta deshidratada o algún otro tipo de materia prima.

El infrarrojo utilizado como calefacción es un gran desconocido para el rubro. Busca imitar la energía del sol, a mucha menor escala y sin la radiación ultravioleta. La experiencia es la de recibir un calor más natural.



Figura 1. Deshidratador con infrarrojos lejanos
Fuente: www.irconfort.com

B. Equipo deshidratador de frutas marca Excalibur

Funciona por medio de aire sobrecalentado y se alimenta de 220V en corriente alterna. Está construido en su totalidad de acero inoxidable con certificación NSF, consta de dos compartimientos exactamente metrados, cada compartimiento incluye 21 bandejas del mismo material.

Cada compartimiento del equipo tiene un ventilador de 16,5 cm de diámetro, trabaja con un pequeño tablero digital, que cumple con la función de controlar la temperatura entre 26°C a 93°C en ambos compartimientos.

C. Deshidratador de alimentos marca Klimatechnik

Funciona por medio del aire sobrecalentado, y se alimenta de 220V en corriente alterna. Está construido de acero inoxidable y tiene la opción de poder funcionar a gas en vez de corriente eléctrica.



Figura 2 Equipo deshidratador Excalibur
Fuente: www.vitalityperu.com



Figura 3 Deshidratador Klimatechnik
Fuente: www.ktperu.com

2.1.1.2. Publicaciones científicas/ingenieriles existentes

Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo de Satipo.

Esta investigación consistió en el estudio de la influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo; se llevó a cabo en los laboratorios de Análisis Instrumental y Tecnología de alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad del Centro del Perú.

Tiene como objetivos evaluar el agente osmótico durante el deshidratado del mango criollo en rodajas, determinar el tiempo óptimo de deshidratado en los 2 tratamientos y realizar una evaluación sensorial del producto final (color, sabor y apariencia general).

Las rodajas de mango criollo fueron sometidas al proceso donde se usó dos agentes osmóticos: jarabe de sacarosa y jarabe de glucosa a la concentración de 70°BRIX, temperatura ambiente (18°C) durante el transcurso de 7 horas de inmersión, los cuales, presentaron las siguientes características fisicoquímicas: humedad 84,3%, pH 4,6870; ácido cítrico 0,42% y 13,5°BRIX de sólidos solubles.

Como conclusión se determinó el uso del jarabe de glucosa obteniéndose un producto con una humedad de 58,14% y una concentración de sólidos solubles de 41°BRIX. [1]

Diseño de un sistema de deshidratación y secado de mango a nivel de laboratorio.

Esta investigación tiene como fin diseñar un sistema de secado que nos permita determinar el tiempo exacto de secado del mango a temperatura constante. Se elaboró un secador de laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas, determinando una temperatura de trabajo constante de 55°C con una velocidad de aire de 1,5 m/s para así hallar la humedad crítica, tiempo crítico, curvas y tiempo de secado aproximado. La humedad relativa para la temperatura de ambiente fue de 67%, al momento de aumentar la temperatura a 55°C se reduce la humedad hasta un 17%.

Se diseñó un deshidratador de mango el cual está compuesto por un ventilador, resistencias y cámara de secado donde se realizó el proceso de disminución de humedad

de las tajadas de pulpa de mango. Se deshidrato 2860 kg de pulpa de mango según el diseño del deshidratador. Se trabajó también con un procedimiento sencillo que convierte el modelo GAB, modelo que se emplea frecuentemente en el campo de los alimentos. [2]

2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes

Actualmente los equipos de secado que trabajan con circulación de aire sobrecalentado entregan un producto con porcentajes de pérdida de humedad y peso, respecto al tiempo de trabajo. En estas máquinas la pulpa del fruto, ingresan con un alto porcentaje de agua lo que genera un amplio tiempo de trabajo. Por lo cual la pulpa de la fruta es maltratada, entonces la calidad del producto entregado es baja.

Es necesario tratar directamente con la composición del fruto. Adecuando un proceso de deshidratado químico para cada tipo de fruta. Con esto se busca rediseñar todo el sistema de secado comercial para la deshidratación de fruta fresca.

2.1.3. Planteamiento del problema

¿Cómo deshidratar directamente la fruta fresca, aumentando el porcentaje de pérdida de agua, conservando su peso y protegiendo el fruto de la actividad bacteriana?

Se diseñará mecánicamente una cámara deshidratadora que abarque tratamientos químicos conocidos, para así trabajar directamente con la composición de la fruta.

Con la deshidratación osmótica se busca mayor eliminación de humedad y conservación del peso; también se busca proteger la pulpa de la fruta de procesos con largos tiempos que solo maltratan el producto final. El baño con sulfitos actúa a la par con la solución osmótica y se encarga de trabajar como reductor de posible actividad bacteriana y de aumentar el tiempo de vida útil del producto deshidratado.

Es necesario determinar que el proceso de producción de mango deshidratado tengo una orientación lineal, para que se adecue al rediseño del sistema de secado deseado y así elevar la producción y calidad del producto final. A continuación, se definió el proceso de producción.

Definir el proceso de producción del mango deshidratado

En este apartado se describió el proceso de producción y la vida útil que recorre la fruta para convertirse en pulpa de mango deshidratado.

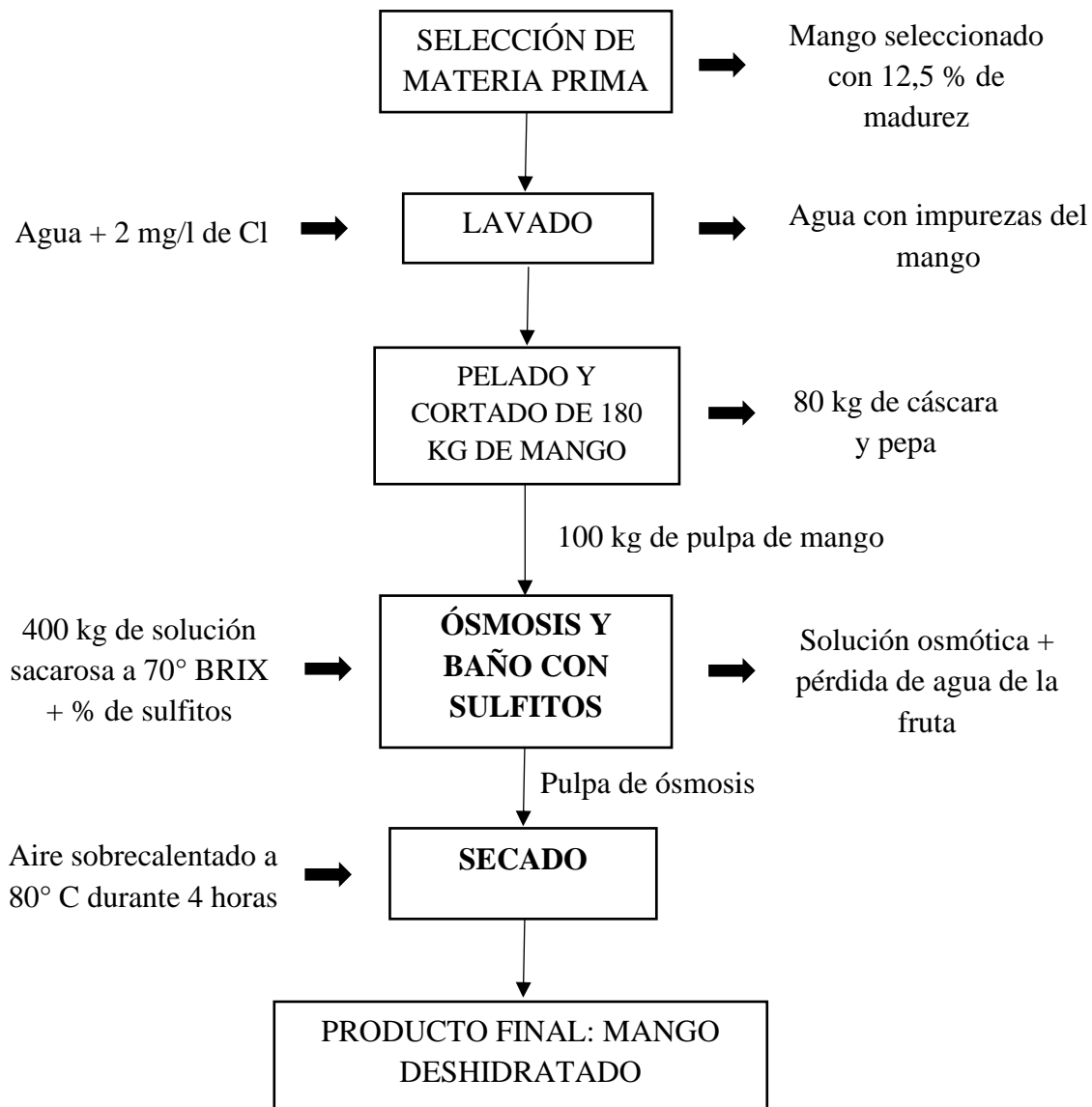


Figura 4 Diagrama de flujo del proceso de producción del mango deshidratado.
Fuente: Autor de tesis de investigación.

Selección de la materia prima:

Luego de la recolección de la materia prima, se seleccionó meticulosamente los mangos que presentan una mezcla de matices (40% verde), (50% amarillo) y (10% rojo) determinando su madurez de 12,5% (humedad $84 \pm 1\%$ y 13 °BRIX aprox.) o un estado de maduración de $\frac{3}{4}$; para así aprovechar la mayor cantidad de pulpa en perfecto estado.



Figura 5 Selección de la materia prima a procesar.

Fuente: www.inspirefoodcompany.com

Lavado:

Luego de seleccionar los mangos maduros se procedió a sumergir la materia prima en tinas adecuadas llenas con agua a la cual se le agregó 2 mg/l de Cl según las normas para la correcta limpieza, esto se realizó con el fin de retirar todo tipo de impurezas y para continuar el proceso con frutas de calidad.

Pelado y cortado:

El mango en perfecto estado pasa por su tercera etapa, donde se separa de la cáscara y pepa con cuchillos inoxidable. Aquí se trata de extraer toda la pulpa necesaria y se desecha el resto.

Luego de la extracción a gran escala de la pulpa, se cortó en dimensiones de 4,5 hasta 10 cm de largo y con un espesor de 0,5 cm para que el área de las tajadas de mango sea la adecuada.



Figura 6 Pelado y cortado del mango.
Fuente: sinaloatour.com

Tratamiento osmótico:

Las tajadas de mango recorren en bandas transportadoras, el tramo desde el área de pelado hasta la cámara osmótica; se ingresan las tajadas con cuidado para evitar la pérdida de pulpa, aquí la materia prima se osmódeshidratará en una solución sacarosa con datos generales de 70°BRIX.

En el proceso las tajadas de mango se mantienen 7 horas para remover hasta el 40% del agua original de la fruta, mantener su color y ganancia de % de sólidos. [1]



Figura 7 Recepción de las tajadas de mango.
Fuete: www.alpesdelnorte.com

Baño con sulfitos:

Las tajadas de mango dentro de la solución osmótica también son tratadas por el baño con sulfitos que contiene 3% de ácido cítrico para regular el pH y 1% de benzoato de sodio grado alimentario, los cuales permitirá limpiar y mantener, el peso, humedad relativa y grados BRIX de las tajadas de mango.

El proceso al estar dentro de la solución osmótica tiene la misma duración.

No obstante, este baño con sulfitos tiene como principal objetivo, evitar el oscurecimiento de la fruta y el crecimiento de hongos y bacterias. [1]

Drenado:

Luego de culminar el tiempo de los tratamientos químicos, se extrajo las tajadas de mango de la malla de acero inoxidable que elimina el exceso de jarabe.

Secado:

Luego del paso por la cámara, las tajadas de mango se colocan en bandejas de acero inoxidable y continúan su recorrido hasta llegar al secador de bandejas seleccionado que trabaja con aire sobrecalentado de flujo laminar sobre las bandejas a 60°C constantes. [1]

El proceso de secado tiene una duración de 4 horas.



Figura 8 Tajadas de mango sobre bandejas, ingresando al equipo de secado.

Fuente: www.fps.org.mx

2.1.4. Requerimientos del diseño

2.1.4.1. Selección de material usado en industrias alimentarias para el diseño de la cámara.

En general todos los aceros tienen la misma composición química base (hierro y carbono); el acero inoxidable sobresale por la dosis de cromo añadido, sustancia que brinda a este, resistencia a la corrosión. Existen múltiples grados de acero inoxidable en la industria, cada uno contiene una composición de aleación diferente y por tanto propiedades físicas distintas. [14]

Los dos grados de acero inoxidable más comunes son AISI 304 y AISI 316, cuya diferencia es la adición de molibdeno que mejora drásticamente la resistencia a la corrosión, para entornos salinos o expuestos a cloruros. El acero inoxidable AISI 316 contiene molibdeno. [14]

Acero inoxidable 316

Con la incorporación de 2% a 3 % de molibdeno, se utiliza en aplicaciones industriales que involucran procesos químicos. Gracias a sus cualidades no reactivas también es usado para la fabricación de instrumentos quirúrgicos médicos.

Tabla 1 Composición química de los aceros inoxidables.

Normas internacionales		Composición química de los aceros inoxidables en (%)				
AISI	N° acero	C	Cr	Ni	Mn	Mo
304	1,4301	0,040-0,070	18,0-19,5	8,0-10,0	2 max	-
316	1,4401	0,035-0,050	16,5-18,0	10,9-12,0	2 max	2,0-2,5

Fuente. Ficha técnica del acero inoxidable.

Tabla 2 Propiedades de los aceros inoxidable.

Normas internacionales		Propiedades mecánicas y físicas						
AISI	N° acero	N/mm ²	J/kgK	ρ	w/mK	°C	200°F	500°F
304	1,4301	193	500	7,90	16	870	9,40	12,40
316	1,4401	193	500	7,95	16	870	9,40	12,30

Fuente. Ficha técnica del acero inoxidable

De acuerdo a los formatos de las planchas de acero inoxidable y formatos de las barras redondas sólidas, que se venden en el mercado peruano, se diseñará la cámara para tratamientos químicos. (Anexo 03 y 04)

2.1.4.2. Preparación de la solución osmótica y el baño con sulfitos para rodajas de mango criollo.

Se utilizó como materia prima azúcar blanca refinada (99,5°BRIX) y agua destilada (0°BRIX), para la dilución. Es necesario el uso de un refractómetro de mano para así poder captar el rango deseado (70°BRIX) en la solución osmótica que tiene una masa de 400 kg. [1]

Entonces la solubilización de la dilución se efectuó dentro de la cámara a baño maría con una temperatura constante de 80°C durante el transcurso de 1 hora.

Para el baño con sulfitos, se añadió ácido cítrico para regular el pH a 3%, también 1% de benzoato de sodio grado alimentario para su conservación durante el tiempo de vida del producto. Se determina la masa de los sulfitos por los porcentajes agregados a la solución.

Para el ácido cítrico agregado, 3% de 400 kg de solución, que vienen a ser 12 kg. Para el benzoato de sodio, 1% de 400 kg de solución, que vienen a ser 4 kg. [1]

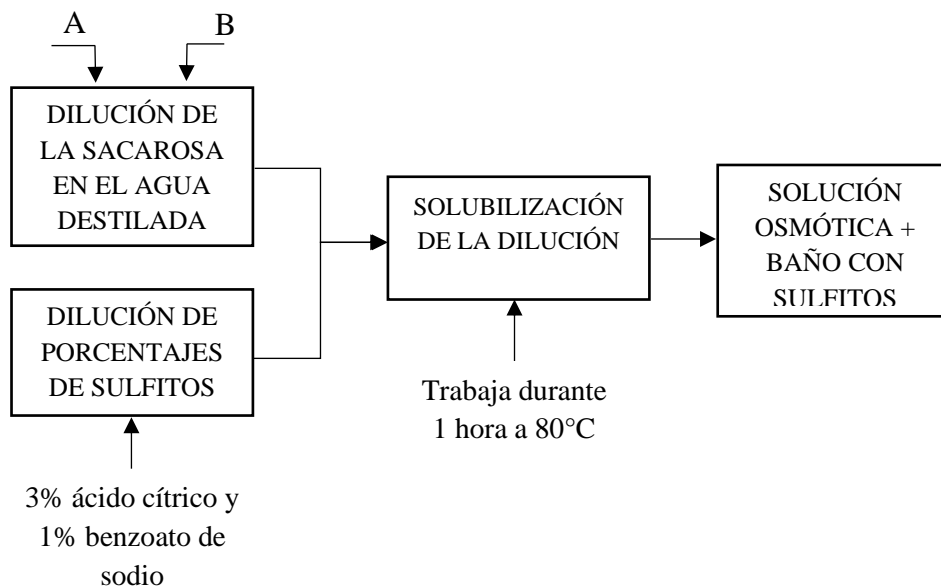


Figura 9 Diagrama de flujo de la preparación de la solución osmótica

Fuente: Autor de tesis de investigación.

2.1.4.3. Aplicación de la deshidratación osmótica en pulpa de mango.

Se presenta el comportamiento de las soluciones osmóticas durante la deshidratación osmótica que influye en el porcentaje de ganancia de solutos, porcentaje de pérdida de masa y porcentaje de disminución de humedad. Las mediciones se realizaron durante 7 horas. La porción utilizada (fruta: jarabe) fue de (1:4). Se prepararon 7 recipientes en cada uno de los cuales se utilizó 200 g de fruta y 800 g de jarabe.

En la tabla 4, se presentan los resultados de la cinética de deshidratación osmótica utilizando modelos matemáticos de evaluación de deshidratación osmótica. [1]

Tabla 3 Resultados obtenidos en la deshidratación osmótica del mango criollo en rodajas con jarabe de sacarosa a 70°BRIX.

Tiempo (horas)	Sólidos solubles de la fruta Bt (°BRIX)	Masa del fruto m_t (g)	Humedad final U_t (%)	Pérdida porcentual de agua P_p (%)	Ganancia porcentual de sólidos G_s (%)	Pérdida porcentual de masa P_m (%)
0	13,500	200,000	84,300	0	0	0
1	27,800	158,000	71,300	27,940	8,460	21,000
2	31,200	144,000	66,460	36,440	8,960	28,000
3	35,000	135,000	64,220	40,950	10,130	32,500
4	37,200	130,000	63,610	43,140	10,680	35,000
5	40,000	124,000	60,240	46,950	11,300	38,000
6	40,000	124,000	60,240	46,950	11,300	38,000
7	40,000	124,000	60,240	46,950	11,300	38,000

Fuente: Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo.

Entonces se puede determinar las curvas obtenidas del transporte de masa durante los experimentos para la evaluación de la deshidratación osmótica utilizando jarabes de sacarosa y glucosa en relación a la evaluación de deshidratación osmótica. [1]

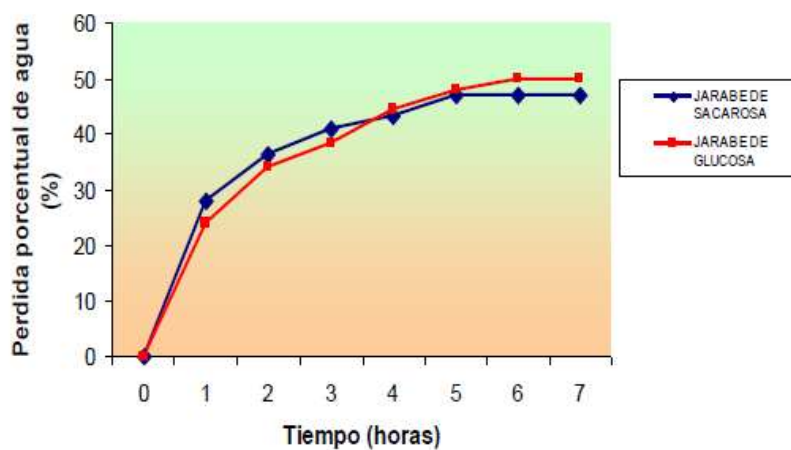


Figura 10 Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de mango criollo.
Fuente: Influencia de sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo.

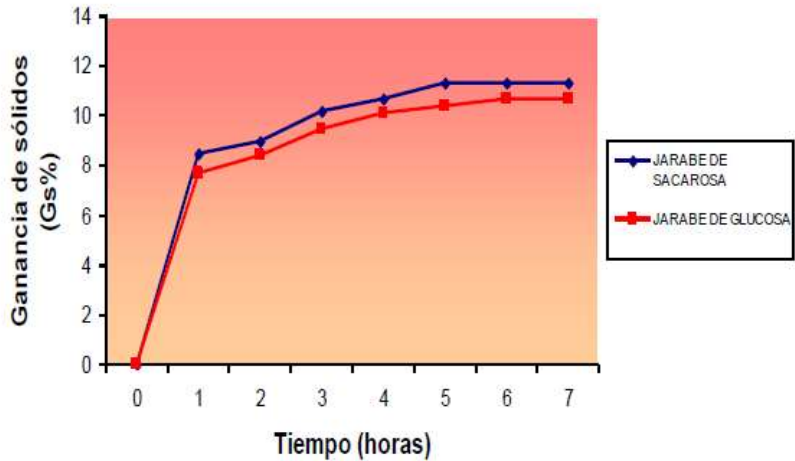


Figura 11 Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica de mango criollo.
Fuente: Influencia de sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo.

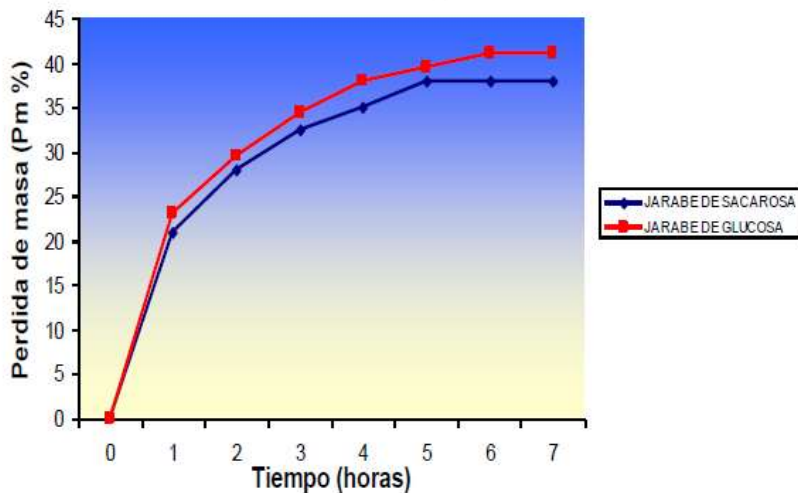


Figura 12 Pérdida de masa durante la deshidratación osmótica de mango criollo.
Fuente: Influencia de sacarosa y glucosa en la deshidratación osmótica del mango criollo.

En las figuras 10 y 11, se observan que las velocidades de pérdida de agua y ganancia de sólidos fueron superiores al inicio de la deshidratación, llegando a un máximo valor, a partir del cual se establece un equilibrio. En el caso del jarabe de sacarosa este punto máximo es de 5 horas. [1]

También se puede determinar en la figura 18, que con el jarabe de la sacarosa se llega a perder (46,95%) de cantidad de agua.

En la figura 11, se observa que la ganancia porcentual de sólidos en la pulpa del mango deshidratado es mayor utilizando jarabe de sacarosa (11,30%), el azúcar es transferido de la solución a la muestra de mango y viceversa, en un modo dinámico. Durante la deshidratación osmótica la ganancia de sólidos tiende a aumentar debido a la transferencia de azúcar del jarabe al fruto. [1]

En la figura 12, se observa que la pérdida de masa durante el deshidratado osmótico con el jarabe de sacarosa (38%), este factor se debe a la dificultad de difusión de la sacarosa a través de la pared celular en virtud a su alto peso molecular. [1]

2.1.4.4. Equipo de control y medición para la transferencia de calor en la cámara deshidratadora.

Controlador PID

Permite la integración con equipos que realizan funciones específicas. Un PID es un sistema de control por realimentación que calcula el error entre el valor entregado a la salida y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

Capta una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar (valor de referencia), que es del mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor (señal de salida). La señal de error determina al instante la diferencia que hay entre el valor deseado y el valor medido, esta señal se obtiene restando la señal de salida y la señal de referencia. Los 3 componentes de un PID son:

Acción proporcional (P); requiere el cálculo de un solo parámetro, además genera una respuesta instantánea.

Acción integral (I); da una respuesta proporcional a la integral del error.

Acción derivativa (D); da una respuesta proporcional a la derivativa del error, sumando esta acción de control a las anteriores, se elimina el exceso de oscilaciones.

Sensor RTD (PT100)

El sensor más común de la industria, construido en platino entrega criterios como resistencia a la corrosión, adaptabilidad al ambiente y exactitud de 0,2 en mediciones. Se muestran los valores estándares de resistencia a distintas temperaturas para la PT100 con $\alpha = 0,00385 \Omega/\Omega/K$.



Figura 133 Termoresistencia RTD PT100 clase A

Fuente: www.viaindustrial.com

En la siguiente tabla se determina el estándar de tolerancia con respecto a los valores de temperatura y ohmios para cada clase. [5]

Clase A tiene un rango de temperatura de funcionamiento de (-30 hasta 350 °C). Clase B cuenta con un rango mayor de (-200 hasta 600 °C)

Tabla 4 Tolerancia de propiedades para cada clase de PT100.

Temperatura de medición	Tolerancia			
	Clase A		Clase B	
	°C	±Ω	°C	±Ω
-200	0,550	0,240	1,300	0,560
-100	0,350	0,140	0,800	0,320
0	0,150	0,060	0,300	0,120
100	0,350	0,130	0,800	0,300
200	0,550	0,200	1,300	0,480
300	0,750	0,270	1,800	0,640
400	0,950	0,330	2,300	0,790
500	1,150	0,380	2,800	0,930
600	1,350	0,430	3,300	1,060

Fuente: Principios de medición.

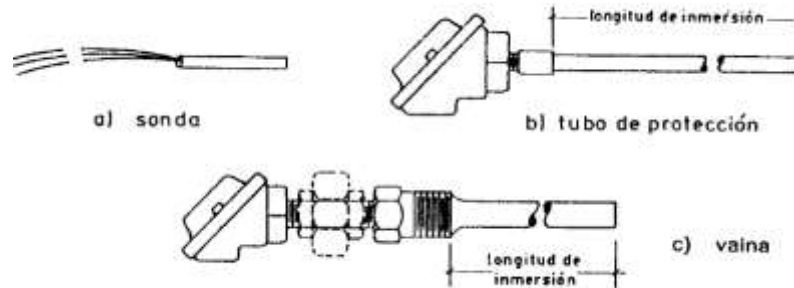


Figura 14 Estructura de la PT100
Fuete: Principios de medición.

2.1.4.5. Equipo de transporte de la materia prima

Las fajas transportadoras son el sistema de transporte más utilizado en la industria que aumenta la eficiencia en la línea de producción. Con el enrutamiento de producto más preciso resuelve el cambiante movimiento que éste necesita. En conclusión, este sistema está diseñado para entregar una máxima flexibilidad, fácil integración y funcionalidad de automatización.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Descripción general del mango

El mango es una fruta exótica de origen asiático que se caracteriza por tener pulpa carnosa y un sabor muy dulce. Esta fruta es de color verde y sabor medianamente ácido durante su proceso de maduración y amarillo o naranja cuando está completamente maduro. [3]

En el Perú, esta fruta se cosecha principalmente en su costa norte debido al clima adecuado que posee esa zona del país, la cual permite que el cultivo del mango sea más fácil, obtenga un mejor color, más dulzura y menos trementina en la cáscara. [3]

Actualmente en el Perú se cultivan dos tipos de mangos, las plantas francas (no injertadas y poliembriónicas) como el criollo de Chulucanas, el Chato de Ica y el Rosado de Ica, que son orientados principalmente a la producción de pulpa y jugos concentrados que se exportan a Europa; y las plantas mejoradas (injertadas y monoembriónicas) como el Haden, Kent, Tommy Atkins y Edward, los cuales se exportan en estado fresco. [3]

Llamado en el hemisferio norte como “manzana de los trópicos” se considera actualmente como una de las frutas más finas en el mundo, existiendo una gran variedad, entre las que destacan:

Variedades de mango en territorio peruano

Kent:

- Tamaño grande (500 a 800 g) y de color amarillo anaranjado con chapa rojiza a la madurez.
- Forma ovalada orbicular, de agradable sabor, jugoso de poca fibrosidad y alto contenido en azúcares.
- Variedad semi-tardía. [3]

Tommy Adkins:

- Tamaño medio a grande (380 – 700 g) y que a la madurez adquiere un color rojo-amarillo, con chapa rojiza.
- Forma ovalada, de pulpa firme y de color y sabor agradables.
- Variedad de media estación. [3]

Haden:

- De tamaño grande (600 g).
- De forma oblonga, oval, resistente a daños mecánicos y con mayor período de conservación, no tiene las mejores características en cuanto a sabor y aroma.
- Es la variedad más común en los mercados y es tardía. [3]

Mango Criollo:

- De tamaño mediano (215 - 256 g) con una coloración amarillo verdosa.
- El fruto es de tipo drupa carnosa achatada lateralmente.
- Es la variedad más común en los pueblos de cosecha. [1]

Composición química y valor nutritivo del mango

El mango fresco es rico en calcio, y fósforo, vitamina C y algunos aminoácidos, además tiene alto contenido en azúcares y calorías. Su valor calórico es de 62 – 64 calorías por cada 100g de pulpa.

Tabla 5 Composición nutricional de la pulpa del mango criollo

100g de pulpa de mango criollo			
Energía (kcal)	60,00	Fósforo (mg)	15,00
Agua (g)	84,30	Zinc (mg)	0,04
Proteínas (g)	0,50	Hierro (mg)	0,40
Grasa Total (g)	0, 10	Vitamina A (g)	38,00
Carbohidratos (g)	12,25	Tiamina (mg)	0,03
Fibra (g)	1,92	Riboflavina (mg)	0,11
Cenizas (g)	0,93	Niacina (mg)	0,39
Calcio (mg)	17,00	Vitamina C (mg)	24,80

Fuente: “Tablas peruanas de composición de alimentos (1996)”.

2.2.2. Data de producción de mango seco en la región

Producción nacional expresada por kilos y FOB (2012 - 2016)

El Perú se ha ganado a pulso un sitio en las grandes ligas del comercio mundial de mango (fresco o en conserva) desde mediados la década pasada, en la que destacaban países como la India, México, Brasil, Tailandia, Ecuador, entre otros. En los últimos años el orden de mérito de los países exportados ha cambiado, tomando a México como el líder indiscutible, seguido por Tailandia y la India; y a partir del 2016 Perú ha superado en el ranking a Brasil.

Como se puede observar en el gráfico las exportaciones peruanas están aproximándose a un equilibrio en el crecimiento permanente, ya que en el año 2014 las exportaciones sufrieron una caída importante.

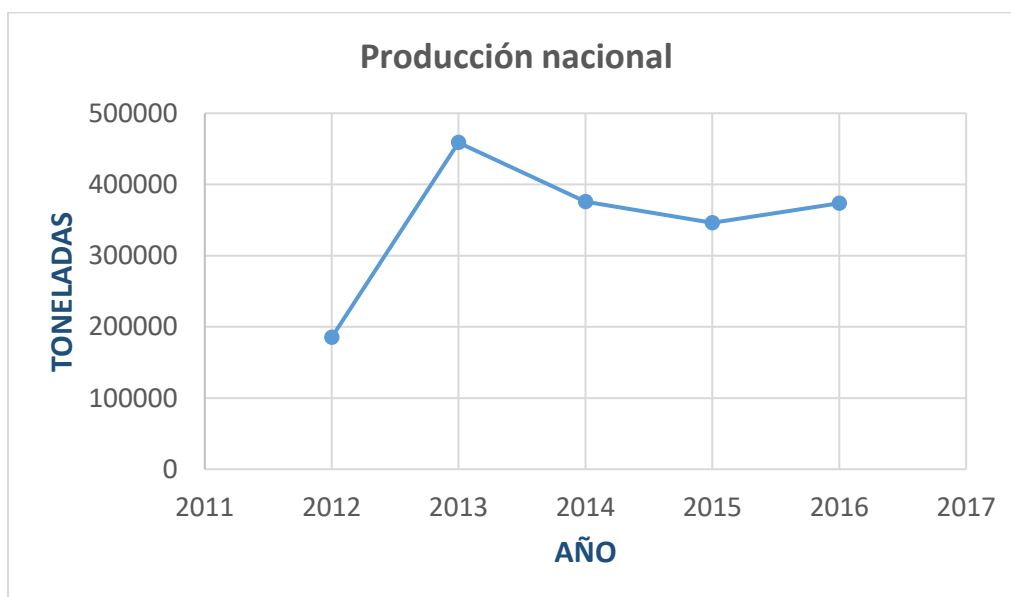
De toda la producción nacional de mango se conoce que del 15 – 20%, es utilizada para la producción de mango deshidratado.

Los datos estadísticos que se han tomado como base en esta investigación, son los datos de producción total del mango, no se ha podido encontrar datos exactos de producción de mango que se destina para la deshidratación. [5]

Tabla 6 Producción de mango en el Perú desde el año 2012 al 2016

Nacional	Toneladas de mango	Precio por tonelada soles
2012	185182	901
2013	458766	295
2014	375998	542
2015	345979	1027
2016	373500	555

Fuente: DGESEP, Ministerio de Agricultura



Gráfica 1 Producción de mango en el Perú 2012 – 2016

Fuente: DGESEP, Ministerio de Agricultura

Producción de mango a nivel de Lambayeque en estos últimos años

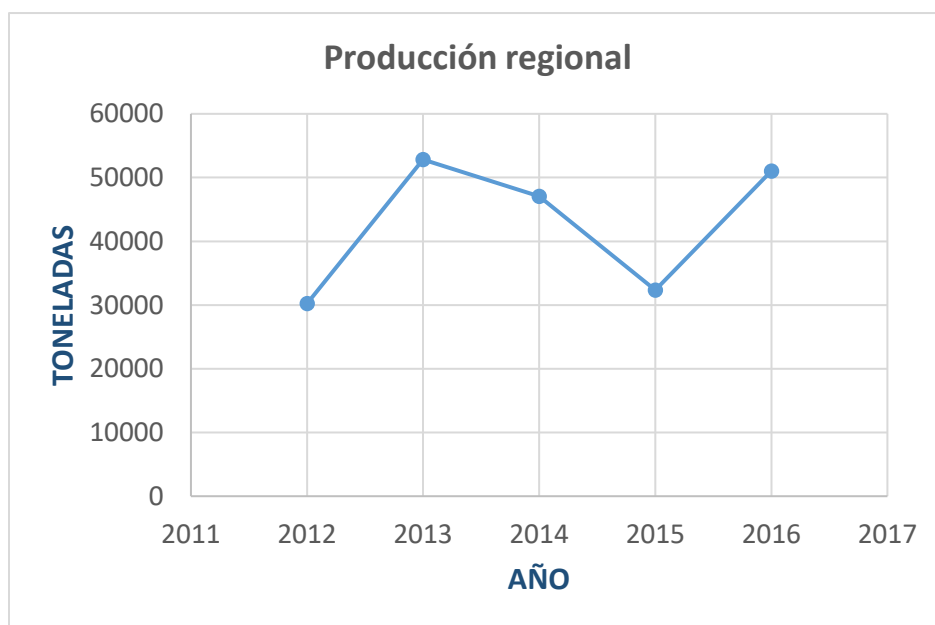
La producción de mango en la región se distribuye en Motupe (11%) y Olmos (3%); con un promedio de 4162 hectáreas cosechadas en los últimos 5 años a lo largo de su litoral.

La producción de los valles lambayecanos se destina a exportaciones destacando las variedades Kent y Haden al igual que Piura. [5]

Tabla 7 Producción de mango en Lambayeque desde el año 2012 – 2016

Regional	Toneladas	(Soles/kg) al productor	(Soles/tonelada) al productor	Hectáreas cosechadas	Rendimiento (t/ha)
2012	30218	0,760	760	4292	7,041
2013	52831	0,290	290	4240	12,460
2014	47047	0,390	391	4154	11,300
2015	32354	0,950	950	4142	7,800
2016	51017	0,640	635	3980	13,000

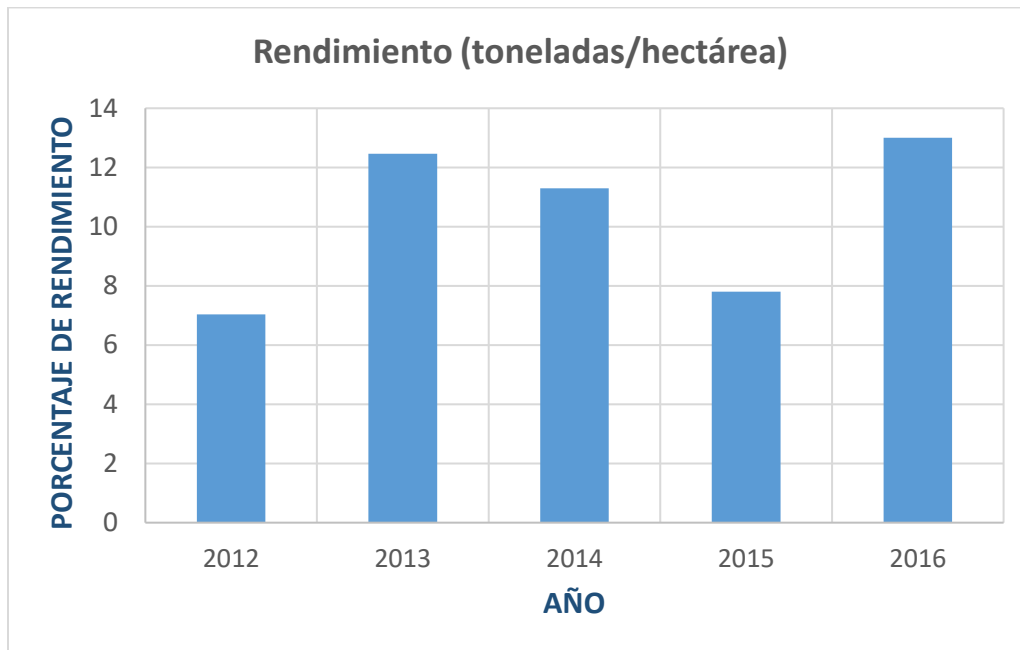
Fuente: DGESEP, Ministerio de Agricultura



Gráfica 2 Producción en toneladas de mango en Lambayeque.

Fuente: DGESEP, Ministerio de Agricultura

Como se observa en el gráfico la producción en el año 2015 tuvo una caída alarmante debido al clima caluroso del norte del Perú, la cual disminuye las posibilidades del proceso de producción del mango por las altas temperaturas que no favorecen en la floración de la fruta.



Gráfica 3 Rendimiento de toneladas métricas por hectárea en la región.
Fuente: DGESEP, Ministerio de Agricultura

El rendimiento por hectáreas se determina según las toneladas métricas por hectárea, el rendimiento para el año 2016 se incrementó un 84% con relación al año 2012; lo que demuestra el gran esfuerzo de los agricultores aprovechando a mayor escala las hectáreas cosechadas.

Entonces se demuestra la futura gran demanda de producción de mango en la región Lambayecana.

2.2.2.1. Técnicas para el deshidratado del mango.

El deshidratado es uno de los procesos más antiguos para la preservación de las frutas; gracias a la mínima presencia de agua, los microorganismos no pueden proliferar y también quedan detenidas la mayoría de reacciones químicas que pueden alterar la composición nutricional de las frutas. La calidad de una fruta deshidratada se calcula por la cantidad de degradaciones físicas y bioquímicas que ocurren en ellas y depende en gran escala de la temperatura, tiempo de deshidratado y de la actividad de agua. [6]

Deshidratado con aire caliente.

Para llevar a cabo este proceso se necesita un secador que use como fuente de energía (gas, petróleo, electricidad) para calentar el aire y disminuir su humedad relativa, luego con ayuda de los ventiladores hace circular el aire sobrecalentado. La diferencia de temperatura entre el aire calentado y las tajadas de pulpa de mango, es la que transformará el agua contenida en vapor de agua, y así es extraída por evaporación. [6]

Deshidratado al aire libre.

Es el deshidratado tradicional, la cual se seca el mango al aire libre sin ningún equipamiento especial. Se coloca sobre lonas o tablas de madera, exponiéndolo a la acción directa de los rayos solares, recibiendo calor y aireación para evaporar el agua del mango. La desventaja de este proceso es la desinteresada conservación del mango, el poco control de higiene, la contaminación, la lentitud del proceso y los efectos secundarios de secar a la intemperie. [6]

Deshidratado solar.

Los rayos luminosos son transformados en calor a través del efecto invernadero en un colector solar que consta de: Una superficie metálica color negra orientada hacia la dirección del sol, recibe y absorbe los rayos, el calor producido pasa al aire que está en contacto con la superficie. Una pared transparente de vidrio o plástico, deja pasar la radiación luminosa y evita el escape del aire calentado. Un área donde estará el mango con panel de aislamiento y pared transparente resistente a radiaciones UV.

El secado ocurre por la acción del aire calentado y seco, que pasa por las tajadas de mango, en el interior del secador. De esta forma la humedad contenida en las tajadas se evapora y pasa en forma de vapor al aire que los rodea. [6]

2.2.3. Tratamientos Químicos

2.2.3.1. Deshidratación osmótica.

Fundamentos de deshidratación osmótica.

La deshidratación osmótica es un proceso que permite la eliminación del agua de un alimento al sumergirlo en una disolución altamente concentrada.

El proceso se lleva a cabo, cuando el agua encontrada en la materia prima se disuelve a través de las membranas celulares que son semipermeables hacia la solución más concentrada con el fin de establecer un equilibrio.

Al sumergir la fruta en una solución que contiene una alta presión osmótica, crea un gradiente de potencial químico entre el agua encontrada en la materia prima y el agua en la solución, originando el flujo de agua desde el interior de la fruta.

La cinética de este proceso se expresa en términos de pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sólidos, la velocidad del deshidratado osmótico depende enteramente de las características de la materia prima; la composición química, concentración del agente osmótico, de la temperatura, agitación y los tiempos de tratamiento.

Como un estudio de este proceso los flujos netos de salida de agua y ganancia en sólidos, se utilizaron cubos de gel de agar tratados a diferentes temperaturas y concentraciones de la solución osmótica. Se identificó dos etapas en el proceso; la primera llamada “deshidratación” durante la cual se muestra que la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos, por lo que la masa total de la materia prima disminuye con el tiempo. La segunda denominada “impregnación” en la cual la ganancia de sólidos es mayor que la pérdida de agua y la masa total de la materia prima aumenta con el tiempo. [1]

El fenómeno de la ósmosis.

Este proceso permite obtener productos de humedad intermedia, para luego ser tratados por otros métodos. Al combinar estos procesos aumenta la vida útil de la fruta y mejorar las características sensoriales de la materia prima tratada. Se trabaja con equipos de bajo costo y las sustancias utilizadas como solutos son en la mayoría naturales y de fácil adquisición (sacarosa, glucosa, fructuosa, entre otras).

2.2.3.1.1. Factores que influyen sobre la velocidad de la deshidratación osmótica **Temperatura de la solución osmótica.**

La temperatura produce grandes cambios en el proceso debido a los diversos efectos que tiene sobre la permeabilidad de las membranas celulares y la difusión de agua de la materia prima hacia la solución. El aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por ende eleva la velocidad de la difusión, pero también puede afectar la permeabilidad de las membranas perjudicando el proceso. [10]

Concentración de la solución osmótica.

Mientras la concentración de soluto sea mayor, mayor será la diferencia de presión osmótica entre esta y la materia prima, por ende, se elevará la velocidad de salida de agua de la materia prima.

En todo caso debe tenerse en cuenta que concentraciones altas de soluto de la SO causan formación de una capa sobre la superficie de la fruta lo que evitaría significativamente la pérdida de agua. [10]

Relación masa de solución con masa de materia prima.

Cuanto mayor sea la masa del soluto respecto a la masa de la fruta, mayor será la pérdida de agua y la ganancia de sólidos. [10]

Evaluación de la deshidratación osmótica.

Para realizar esta evaluación se tendrá en cuenta la pérdida porcentual del agua $P_p(\%)$, ganancia porcentual de sólidos $G_s(\%)$, pérdida porcentual de masa $P_m(\%)$, humedad final del producto y el tiempo de deshidratado osmótico.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones para los cálculos correspondientes.

Se trabajará con la masa inicial de la materia prima. [11]

$$P_p(\%) = \frac{(P_o \times U_o) - (P_t \times U_t)}{P_o}$$

Ecuación 1: Pérdida porcentual de agua

Fuente. “Efectos combinados de sacarosa-sal sobre la cinética de transferencia de materia y la aceptabilidad del producto”

$$G_s(\%) = \frac{(P_t \times B_t) - (P_o \times B_o)}{P_o}$$

Ecuación 2: Ganancia porcentual de sólidos.

Fuente. “Efectos combinados de sacarosa-sal sobre la cinética de transferencia de materia y la aceptabilidad del producto”

$$P_m(\%) = \frac{(P_o - P_t)}{P_o} \times 100$$

Ecuación 3 Pérdida porcentual de masa.

Fuente. “Efectos combinados de sacarosa-sal sobre la cinética de transferencia de materia y la aceptabilidad del producto”

Donde:

P_o = peso del fruto al tiempo $t = 0$ en g.

P_t = peso del fruto tratado al tiempo t en g.

B_o = °BRIX del fruto al tiempo $t = 0$.

B_t = °BRIX del fruto tratado al tiempo t .

U_o = humedad del fruto al tiempo = 0

U_t = humedad del fruto tratado al tiempo t .

2.2.3.2. Conservación de la materia prima con sulfitos.

Los sulfitos son un derivado del azufre que se encuentra de manera natural en ciertos alimentos, también son usados como aditivos de acción antioxidante y conservante. Su control es necesario debido a que hay personas alérgicas y por otro lado pueden producir pérdida en los valores nutricionales de ciertos alimentos.

Los sulfitos, llevan años empleándose como aditivos conservantes, son eficaces dentro de los alimentos ayudando a mantener el color original evitando la decoloración o el obscurecimiento. Estos sulfitos son muy útiles previniendo el crecimiento de actividad bacteriana, mohos y levaduras; sobre todo en un ambiente ácido.

2.2.4. Transferencia de calor por convección natural.

En la convección natural se considera que cualquier movimiento del fluido ocurre por medios naturales, como la flotación. A menudo no se puede notar el movimiento del fluido debido a las bajas velocidades que intervienen. [8]

El coeficiente de transferencia de calor por convección natural depende notoriamente de la velocidad, entre más velocidad más alto será el coeficiente. Por lo general, las velocidades en la convección natural son menores a 1 m/s.

Se estudiarán las correlaciones para evaluar la transferencia de calor por convección natural para varias configuraciones geométricas. [8]

Para los efectos de convección natural se trabaja con el número de Grashoff, Gr_L

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_C^3}{\nu^2}$$

Ecuación 4 Número de Grashoff

Donde:

g = aceleración gravitacional.

β = coeficiente de expansión volumétrica $\frac{1}{K}$

T_s = temperatura de la superficie en °C

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie en °C

L_C = longitud característica de la configuración geométrica.

ν = viscosidad cinemática del fluido m^2/s

El papel que desempeña el número de Reynolds en la convección forzada es realizado por el número de Grashoff en la convección natural. Este último determina si el flujo del fluido es laminar o turbulento. $Gr_L > 10^9$.

Convección natural sobre superficies.

La transferencia de calor depende de la configuración geométrica, así como de su orientación, la variación de temperatura sobre la superficie y las demás propiedades termo físicas del fluido que interviene. [8]

Existen algunas soluciones analíticas sencillas para la transferencia en la convección natural, pero carecen de generalidad, ya que se obtienen para configuraciones geométricas simples con algunas hipótesis simplificadoras. Del numeroso grupo de esas correlaciones, de complejidad variable y de proclamada exactitud, se trabaja con la que se conoce mejor y es usada con más amplitud. Número promedio de Nusselt:

$$Nu = \frac{hL_C}{k} = C(Gr_L \times Pr)^n = C Ra_L^n$$

Ecuación 5 Número de Nusselt.

En donde Ra_L , es el número de Rayleigh, el cual es el producto de los números de Grashoff y de Prandtl.

$$Ra_L = Gr_L \times Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_C^3}{\nu^2} \times Pr$$

Ecuación 6 Numero de Rayleigh.

Cuando se conoce el número promedio de Nusselt y por consiguiente el coeficiente promedio de convección, la velocidad de la transferencia de calor por convección

natural de una superficie sólida que está a una temperatura uniforme T_s , hacia el fluido circundante se expresa por la ley de enfriamiento de Newton como:

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

Ecuación 7 Ley de enfriamiento de Newton.

Con la ley de enfriamiento de Newton, se halla el flujo de calor transferido de un fluido a otro. [8]

2.2.5. Descripción general de secado

El secado es una operación unitaria, la cual consiste en separar líquidos volátiles a relativamente pequeñas cantidades de sólidos. Aunque el secado se puede dar en líquidos orgánicos, el fluido más común y más estudiado es el agua y por tanto, en el que más se centró esta investigación. Existen diferentes formas de separar un líquido de un sólido por medio del secado: de forma mecánica, con centrifugadoras o prensas, o de forma térmica que suele resultar más caro a la hora de la ejecución del proceso. [13]

La operación de secado es transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. [13]

El secado consiste generalmente en la eliminación de humedad de una sustancia por evaporación del agua de la superficie del producto, traspasándola al aire circundante. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con la que este circule alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.), y de las características del producto (composición, contenido de humedad, tamaño de las partículas, etc.). Es un proceso en el que se intercambian calor y masa, incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agroalimentaria. El secado o deshidratación se usa como técnica de preservación, pues

muchas enzimas y microorganismos que causan cambios químicos en los alimentos y otros materiales, no pueden crecer y desarrollarse en ausencia de agua. [13]

Factores que intervienen en el proceso de secado.

a) Temperatura

El factor más importante es la fuente de energía cinética necesaria para que las moléculas de agua se evaporen. En la operación del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en cuenta las características de la especie que se vaya a someter al proceso.

Durante el proceso de secado, se trabaja con una variable de temperatura con respecto al espesor del sólido, la cual se reducirá al ir disminuyendo el contenido de humedad. [11]

b) Humedad relativa del aire

Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua presente en el aire (P) y la presión de vapor saturado a la misma temperatura (P_o). Si la temperatura se aumenta, la capacidad del aire de contener vapor de agua aumenta. Generalmente se expresa en porcentajes. [11]

c) Velocidad del aire

Mayor velocidad significa mayor arrastre de humedad, y por lo tanto mayor secado. La velocidad del aire tiene como objetivos; transmitir la energía cinética requerida para calentar el agua contenida en los sólidos facilitando su evaporación, y transportar la humedad saliente del sólido.

La forma de la corriente de aire es indispensable e importante a la hora del proceso, una corriente turbulenta es más eficaz que una laminar ya que afecta en mejor forma la capa del sólido. [11]

Tratamiento de sólidos en los secadores

La mayor cantidad de secadores industriales operan con partículas de sólidos durante todo el proceso, también hay los que secan piezas completas, tales como vasijas de cerámica, láminas de polímero, telares, etc.

Para comprender los fundamentos del secado tenemos que comprender los diferentes modelos de movimiento de partículas de sólidos a través de los equipos de secado.

En los secadores no adiabáticos el único gas a separar será el agua que se evaporizará, en ocasiones se hace circular a través del material una pequeña cantidad de “gas de barrido” (aire o nitrógeno). Las modalidades de interacción gas-sólido en los equipos de secado son las siguientes. [13]

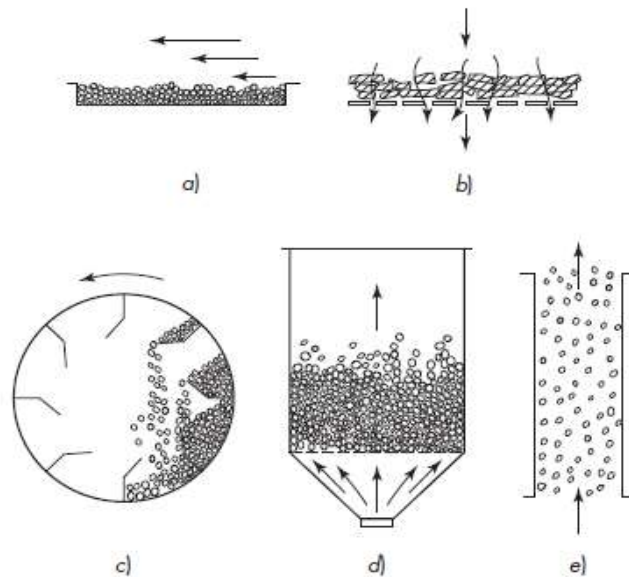


Figura 15 Modelos de interacción gas-sólido en los sólidos

Fuente: Operaciones unitarias en ingeniería química

- a) Flujo de gas sobre sólidos estáticos.
- b) Flujo de gas a través de sólidos preformados.
- c) Acción de lluvia en un secador rotatorio.
- d) Lecho fluidizado de sólidos.
- e) Flujo en paralelo (gas-sólidos) en un secador de transporte neumático.

Métodos generales de secado

Los métodos de secado se clasifican en procesos de lotes y procesos continuos. Los procesos de lote consisten en introducir el sólido o material al equipo de secado y trabajar por periodos. Los procesos continuos consisten en introducir el material al equipo de secado y obtener el material seco en tiempo continuo. [12]

2.2.5.1. Equipos para secado.

a) Secador en bandejas

También llamado secador de anaqueles, o de compartimientos. Trabaja con sólidos en forma de bloques o terrones, se distribuye en las bandejas de metal de forma pareja y que cubra la mayor área. El secador tiene una entrada y una salida para renovar un bajo porcentaje de aire. Como se muestra en la siguiente figura.

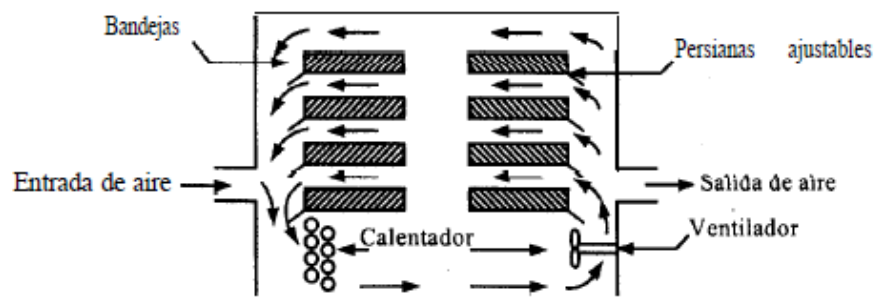


Figura 16 Secador de bandejas

Fuente: Procesos de transporte y operaciones unitarias

Las bandejas se cargan y se descargan de un gabinete.

Se usa un ventilador que hace circular el aire calentado sobre la superficie de las bandejas; también se hace uso de calor por energía eléctrica, en ocasiones cuando el calentamiento requerido es bajo.

Después del proceso se abre el gabinete y retira las bandejas con el material, para luego reemplazarlas por otras con más material y continuar la producción. [12]

b) Secadores continuos de túnel

Suelen ser compartimientos de bandejas que trabajan en serie, cada uno con un ventilador y serpentines de calentamiento.

Existen 2 maneras del proceso: una donde se colocan bandejas o carretillas que se desplazan en forma lineal continuamente por un túnel con aire caliente que pasa sobre la superficie de las bandejas, y la otra cuando se desea secar partículas sólidas granulares, se utilizan transportadores perforados o de fondo de tamiz, como el de la figura. Los materiales granulares se transportan en forma de una capa de alrededor de unos 50 mm de profundidad, sobre la superficie de tamiz a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente. Se puede utilizar otros gases dependiendo del proceso y el material. [12]

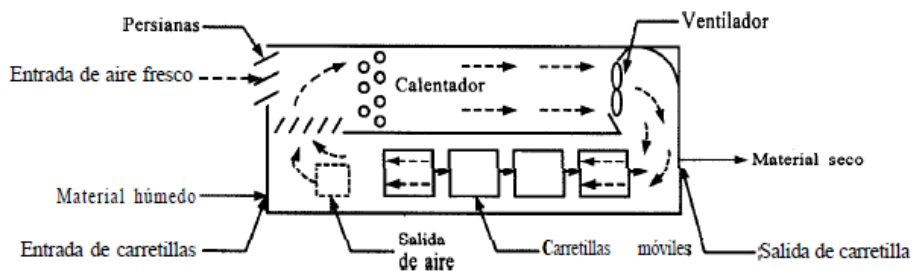


Figura 17 Secador de carretillas con flujo de aire a contracorriente

Fuente: Procesos de transporte y operaciones unitarias.

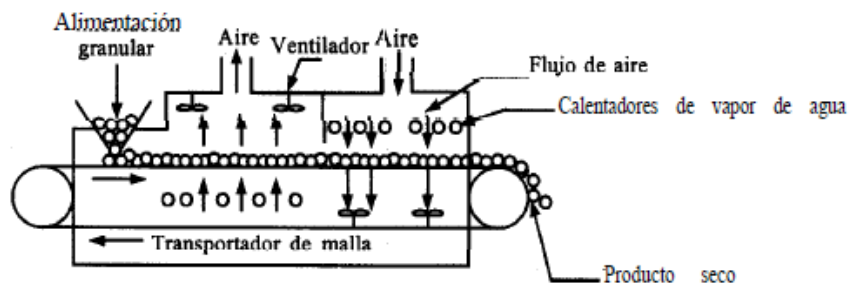


Figura 18 Secador de túnel con banda transportadora

Fuente: Procesos de transporte y operaciones unitarias.

c) Secadores rotatorios

Consta de un cilindro hueco con paredes metálicas que gira sobre su eje, con inclinación hacia la salida. El secador se alimenta de los sólidos granulares por la entrada que está en la parte superior y se desplazan en toda el área de las paredes del cilindro a medida que gira. Estos secadores actúan de manera directa con aire caliente mediante flujo a contracorriente, y de forma indirecta calentando las paredes del cilindro. [12]

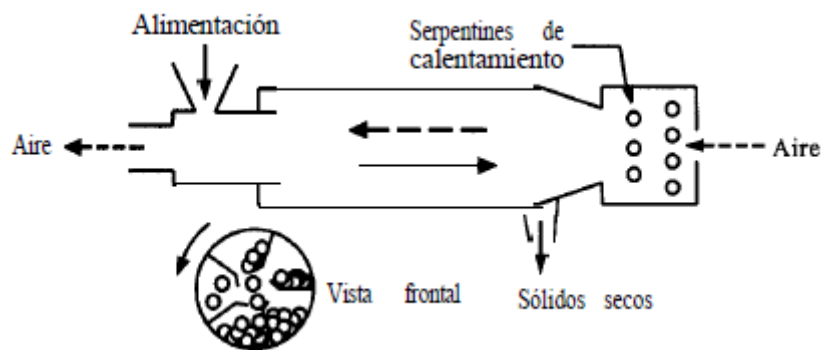


Figura 19 Diagrama esquemático de un secador rotatorio
Fuente: Procesos de transporte y operaciones unitarias.

2.2.5.2. Selección del secador

El diseño y selección del equipo de secado se deciden por las características de los flujos secos y húmedos. [11]

a. Selección inicial de los secadores

Se deben seleccionar los tipos de secadores más adecuados para manejar el producto mojado y seco, que se adapten a la continuidad del proceso requerido y generen un producto con las propiedades físicas adecuadas. [11]

b. Comparación inicial de los secadores

Los secadores seleccionados se filtrarán basándose en los datos de costo y funcionamiento. Luego de la evaluación los secadores que sean menos adecuado al

proceso o poco apropiados desde el punto de vista de su funcionamiento no se tomarán en cuenta en consideraciones posteriores. [11]

c. Pruebas de secado

Los datos experimentales de las pruebas determinarán las condiciones óptimas de operación de los secadores y las características resultantes del producto, serán la base para obtener los presupuestos de los distribuidores de estos equipos. [11]

d. Selección final del equipo de secado.

Luego de recopilar los resultados de las pruebas de secado y los presupuestos de los distribuidores, se llevará a cabo la selección final del equipo de secado más adecuado para el proceso. [11]

2.2.6. Descripción general de equipo de control de procesos

El control de procesos toma en cuenta la medición y el análisis de las variables que determinan el funcionamiento de un proceso, así como la toma de decisiones y la ejecución de acciones de control.

El control automático de procesos es el mantenimiento de un valor deseado para una cantidad o condición física, midiendo su valor actual, comparándolo con el valor de referencia, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla mediante una acción correctiva gracias a un equipo de control, en consecuencia, exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

Dentro de un sistema de control es necesario definir las fases para el proceso:

- Definir objetivos.
- Identificar las variables a medir y las variables de control.
- Seleccionar la configuración del sistema de control.
- Diseñar la ley de control.

Elementos del sistema de control:

- a. **Sensores:** llamado también elemento primario, transforma una magnitud física en otra diferente para emitir una variable.
- b. **Transmisor:** elemento secundario, envía una señal digital con valor de corriente entre 4 y 20 mA.
- c. **Controlador:** denominado cerebro del sistema de control, este elemento se considera como un algoritmo que define un valor en función del valor deseado a la salida del proceso, de la retroalimentación y de los parámetros del controlador. La señal de salida de este equipo manipulara el proceso. El controlador industrial más utilizado es el controlador PID, permite el fácil trabajo con equipos que realizan funciones específicas, es simple, de fácil uso y diseño sencillo.
- d. **Actuador:** este componente recibe la señal emitida por el controlador y proporciona una variación de una variable que ingresa al proceso.

En el caso de procesos lineales, se establece el lazo clásico de control por realimentación de la salida, que tiene variables involucradas; como las variables a controlar que son temperaturas, presiones, caudales, composiciones, también las variables de medidas, las de la manipulación y las variables de referencia. Estas variables son necesarias para cumplir los objetivos de control: seguridad y estabilidad, ajuste a la cantidad y calidad requerida, cumplimiento de normativa medioambiental, funcionamiento óptimo del proceso. [4]

Esquema de control básico de procesos más común:

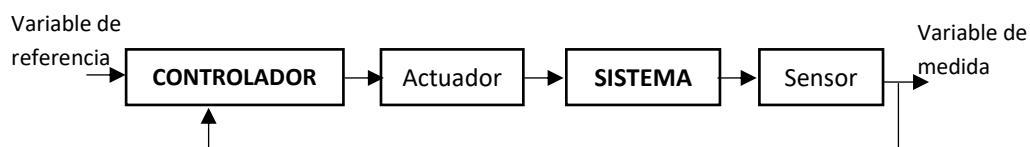


Figura 20 Esquema de control básico.
Fuente: “Control de procesos Industriales”.

2.2.7. Descripción general de Sensor de temperatura

Actualmente para la medición de temperatura en procesos industriales es necesario un sensor que cumpla con la adaptabilidad del proceso, por ende, se seleccionó el siguiente tipo de sensor:

Termoresistencia RTD

La termoresistencia trabaja según la relación; en la que varía la temperatura y su resistencia responde con una modificación de su valor. A mayor temperatura, mayor agitación, mayor resistencia, en general esta variación tiene a ser lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R_t = R_0 (1 + \alpha T)$$

Ecuación 8 Valor de resistencia en ohmios a Temperatura °C

Fuente: Principios de Medición

R_0 : Resistencia en ohmios a 0 °C

α : Coeficiente de temperatura de la resistencia, depende de los materiales utilizados.

Estos materiales suelen ser conductores como el cobre, níquel y platino, las propiedades de estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8 Propiedades de los materiales utilizados en termoresistencias

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad $\mu\Omega/cm$	10,6	1,673	6,844	5,7
α 1/K	0,00385	0,0043	0,00681	0,003786
R_0 (Ω)	25, 50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
Margen °C	-200 a 850	-200 a 260	-80 a 230	-200 a 230

Fuente: Autor de tesis de investigación

El platino aplica dentro de un rango amplio de temperaturas y es el material más adecuado, se utiliza como estándar internacional de temperatura desde -260°C hasta 630°C .

Dentro de los criterios a tener en cuenta están: resistencia a la corrosión y ambientes complicados, comportamiento lineal, alta sensibilidad, facilidad de fabricación, exactitud.

2.2.8. Descripción general de resistencias eléctricas para calentamiento

Son elementos calefactores tubulares que pueden tener variedad de formas, longitudes y potencias.

Existen desde resistencias eléctricas para cubetas de laboratorio hasta grupos para el calentamiento de fluidos para tanques, de posición horizontal o vertical, se fabrican según especificaciones del proceso para sectores industriales, eligiendo el blindaje y la carga específica adecuada para cada líquido.

Existen tres tipos de calentadores eléctricos industriales para el calentamiento de líquidos:

- **Verticales de introducción por la parte superior del depósito:** Fácil de instalar y utiliza calentadores que se insertan en el líquido por la parte superior del recipiente.
- **Resistencias eléctricas con cabezal:** Este calentador es de uso general en todos los procesos industriales. Se insertan a través de una abertura roscada que suelen disponer los depósitos en un lateral.



Figura 21 Resistencias para inmersión

Fuente: www.electricfor.es

- **Resistencias eléctricas con bridas:** Este tipo de calentador cuenta con elementos soldados a una brida y está especialmente diseñado para calentar líquidos a presión o para aplicaciones donde se requiera una gran potencia.



Figura 22 Resistencias con bridas

Fuente: dircasa-calora.blogspot.com

2.2.9. Descripción general de tecles mecánicos

Conocido en la industria como una herramienta de elevación de cargas, que facilita al operario el movimiento de los contenedores de la materia prima del proceso. Los tecles de cadena deben ser limpiados, inspeccionados y lubricados en intervalos periódicos cuando el mantenimiento lo requiera.

Los tecles de cadena están diseñados para levantar cargas verticales y no para elevaciones horizontales o en ángulos, es necesario mantener el tecele en forma perpendicular con el piso.

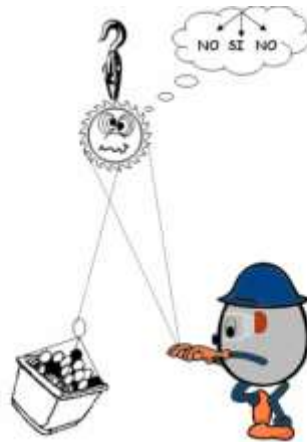


Figura 23 Uso del tecele mecánico

Fuente: www.paritarios.cl

III. DISEÑO

3.1. Definición de la metodología a seguir

En el siguiente esquema se presenta la metodología a seguir en este trabajo de investigación el cual estará dividido en 5 fases.

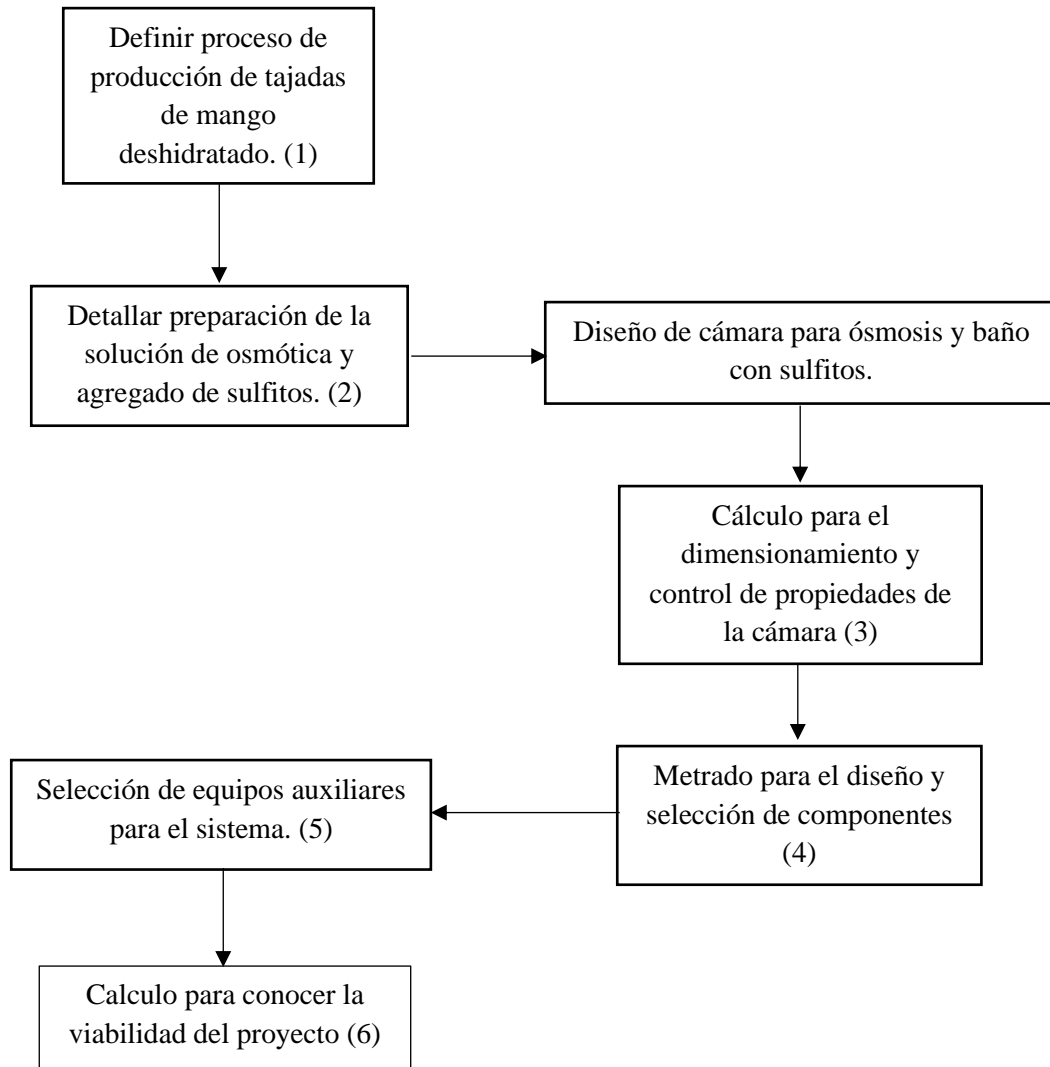


Figura 24 Diagrama de flujo detallando cada una de las etapas del diseño

Fuente: Autor de tesis de investigación

- (1) Definir proceso de producción de tajadas de mango deshidratado: el proceso de deshidratado del mango se determinó por los requerimientos de cada paso para asegurar la mayor eficiencia del sistema en conjunto. Se toma en cuenta el tiempo que llevará el proceso de producción.
- (2) Detallar preparación de la solución de osmótica y agregado de sulfitos: la solución y el baño con sulfitos están determinados por los grados BRIX, contenido de agua y la masa total de materia prima a deshidratar.
- (3) Cálculo para el dimensionamiento y control de propiedades de la cámara: se definirán las ecuaciones y medidas, para diseñar mecánicamente la cámara; se trabaja con acero inoxidable (grado alimenticio). También es necesario realizar ecuaciones para la transferencia de calor de toda la cámara y así hallar la potencia en (W) para seleccionar resistencias eléctricas de calentamiento.
- (4) Metrado de material para el diseño y selección de componentes necesarios para el proceso de deshidratación de la materia prima.
- (5) Selección de equipos auxiliares: es necesario seleccionar los equipos auxiliares adecuados para complementar el sistema de secado deseado.
- (6) Demostrar con el VAN y TIR la viabilidad del proyecto.

3.2. Diseño de cámara para ósmosis y baño con sulfitos

3.2.1. Cálculo para el dimensionamiento.

3.2.1.1. Capacidad para el compartimiento de solución.

Se determina la capacidad, para el compartimiento de la solución sacarosa. Para determinar el volumen del compartimiento tenemos que tener en cuenta también la masa de la materia prima que va a ingresar. Solución sacarosa con 400 kg y la fruta con 100 kg, hace un total de 500 kg de masa.

Necesitaremos las densidades de la solución sacarosa y de la fruta. (Anexo 01 y 02)

$$\rho_{\text{solucion sacarosa}} = 1070 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{fruta(mango)}} = 1090 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}; V = \frac{m}{\rho}$$

Ecuación 9 Volumen resultante.

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa.”

- Para la solución se determinó:

$$V = \frac{400 \text{ kg}}{1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,373 \text{ m}^3$$

- Para las rodajas de mango se determinó:

$$V = \frac{100 \text{ kg}}{1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,092 \text{ m}^3$$

- El volumen total se dará por:

$$V_t = V_s + V_f = 0,373 \text{ m}^3 + 0,092 \text{ m}^3 = 0,464 \text{ m}^3$$

Se considera 10 % del V_t agregado al compartimiento por la cantidad de kilogramos añadidos de los sulfitos.

$$V_t + 10\%V_t = 0,464 \text{ m}^3 + 0,046 \text{ m}^3 = 0,511 \text{ m}^3$$

3.2.1.2. Dimensionamiento de los compartimientos en la cámara osmótica.

Luego de hallar el volumen total para el compartimiento de la solución osmótica en la cámara, se dimensiona en forma cilíndrica, ya que permite mayor propagación de calor.

$$V = \pi r^2 \times h$$

Ecuación 10 Volumen de un cilindro.

Fuente: Geometría básica.

Donde:

C_1 = compartimiento de solución sacarosa.

C_2 = compartimiento del baño maría.

- **Dimensiones para C_1 :** tomando en cuenta una altura de 0,8 m para facilitar el trabajo del operador del sistema y también facilitar el mantenimiento, se calcula el diámetro del cilindro contenedor de la solución.

$$V_{C_1} = \pi r^2 \times h$$

$$r = \sqrt{\frac{V_{C_1}}{\pi h}}$$

$$r = 0,451 \text{ m}$$

$$D = 0,902 \text{ m}$$

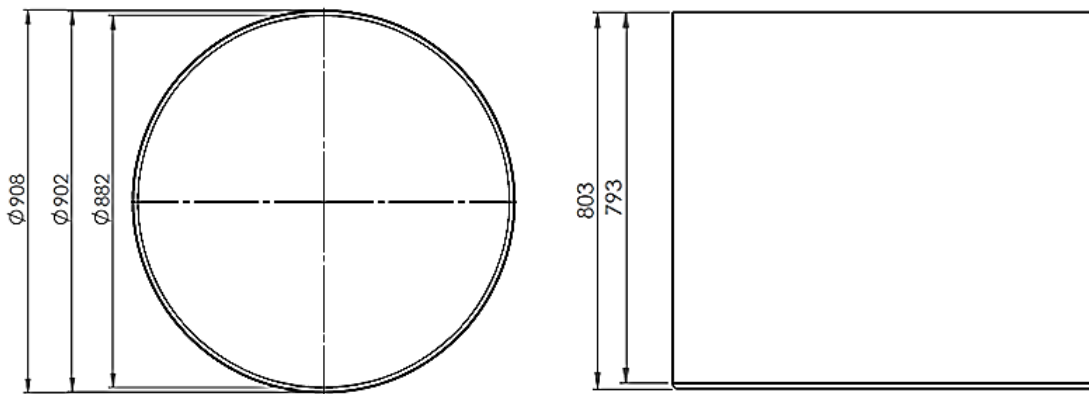


Figura 25 Dimensiones de cilindro C_1

Fuente: SolidWorks

- **Tapa baja para C_1 :** con un diámetro de 0,902 m y un espesor de 3 mm.
- **Tapa para C_1 :** teniendo las mismas dimensiones que la tapa baja, se considera por tema de diseño, una platina agregada en forma vertical, que sirve como tope para evitar el deslizamiento involuntario de la tapa.
El largo de la platina será igual al perímetro de C_1 además tendrá una altura de 1 cm y espesor de 3 mm
- **Dimensiones para C_2 :** tomando en cuenta la relación baño maría, solución osmótica (2:1) así como la altura de 1,2 m por lo antes ya mencionado.

Se determina el volumen del cilindro contenedor de baño maría:

$$V_{C_2} = 2V_{C_1}$$

$$V_{C_2} = 2 \times 0,51128 \text{ m}^3 = 1,023 \text{ m}^3$$

Se considera 10 % del V_{C_2} agregado al compartimiento por un tema de procesos.

$$V_{tc_2} = V_{C_2} + 10\%V_{C_2} = 1,023 \text{ m}^3 + 0,102 \text{ m}^3 = 1,125 \text{ m}^3$$

Donde el diámetro del cilindro es:

$$V_{C_2} = \pi r^2 \times h$$

$$1,1253 \text{ m}^3 = \pi r^2 \times 1,2 \text{ m}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,1253 \text{ m}^3}{\pi \times 1,2 \text{ m}}}$$

$$r = 0,546 \text{ m}$$

$$D = 1,092 \text{ m}$$

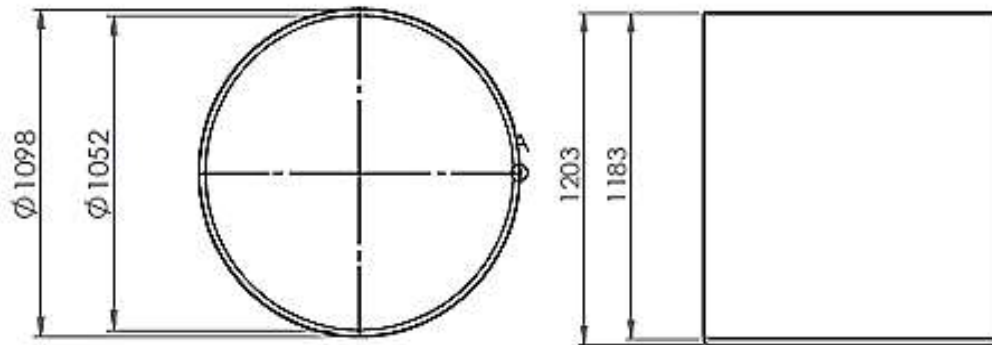


Figura 26 Dimensiones de cilindro C_2

Fuente: SolidWorks

Para hallar la masa del baño maría es necesario determinar la altura que alcanzará. El compartimiento de la solución (C_1) está ubicado en el centro del compartimiento de baño maría (C_2); entonces la distancia entre la tapa baja de C_2 y la de C_1 se determinó como 0,2m por la diferencia de alturas.

La altura que alcanza la masa de agua es igual a 0,2m + 0,8m (que es la altura de C_1). Sin embargo es necesario contar con 0,95m como altura real, por seguridad en la filtración de agua hacia el compartimiento de la solución.

Para determinar el volumen que alcanza el agua; es necesario suponer un cilindro con el diámetro de C_2 y la altura de 0,95m.

$$V_{CS} = \pi r^2 \times h$$

$$V_{CS} = \pi(0,5463^2) \times 0,95 \text{ m}$$

$$V_{CS} = 0,890 \text{ m}^3$$

Entonces

$$V_{agua} = V_{CS} - V_{C_1}$$

$$V_{agua} = 0,8907 \text{ m}^3 - 0,5113 \text{ m}^3$$

$$V_{agua} = 0,379 \text{ m}^3$$

Se define la masa del baño maría mediante la densidad del agua a temperatura ambiente 20°C.

$$\rho_{agua} = 998,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$998,2 \frac{kg}{m^3} = \frac{m_{baño\ maría}}{V_{agua}}$$

$$m_{baño\ maría} = 998,2 \frac{kg}{m^3} \times 0,3794 \text{ m}^3$$

$$m_{baño\ maría} = 378,717 \text{ kg}$$

- **Tapa baja para C_2 :** con un diámetro de 1,092 m y un espesor de 3 mm.
- **Dimensiones de las vigas y soportes para C_1 :** es necesario realizar un cálculo para determinar la deflexión y así poder comprobar que la viga tendrá un diámetro de 1 pulg. Se consideró esa medida por la adecuación a las medidas del diseño de la cámara.

Se suman los pesos de los elementos del contenedor, peso solución 400 kg, peso material de C_1 86,95 kg y peso rodajas más mallas de retención 156,26 kg.

El peso total de C_1 será de 650 kg, se diseñó con 4 soportes dividiendo la carga del peso total.

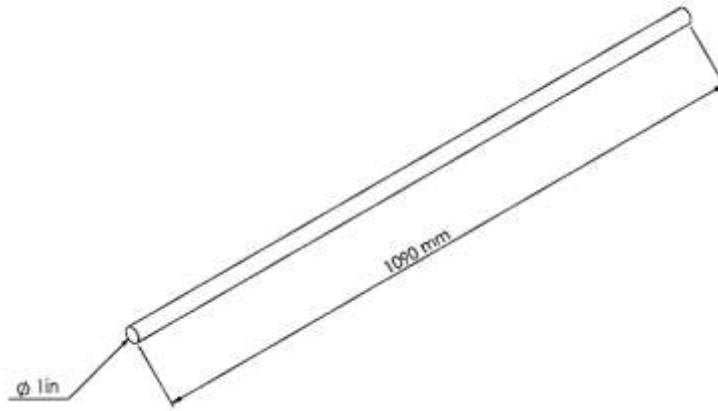


Figura 27 Dimensiones de vigas para C_1

Fuente: SolidWorks

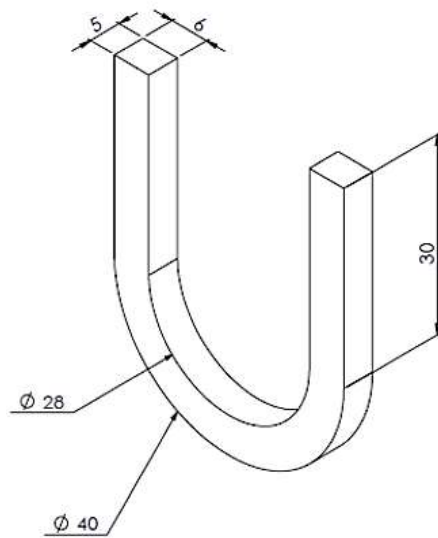


Figura 28 Dimensiones de soportes para C_2

Fuente: SolidWorks

Cálculo de fuerzas distribuidas en la viga

Se sabe que la viga (determinada con puntos AE) es una barra redonda sólida de acero inoxidable 316 y que $P = 162,5 \text{ kg}$, $L = 1,0926 \text{ m}$, $a = 0,0953 \text{ m}$ y E determinado por tabla de propiedades del acero inoxidable 316 es $193 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

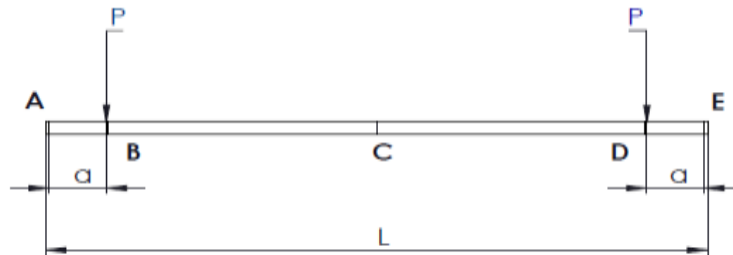


Figura 29 Descripción de fuerzas en la viga

Fuente: SolidWorks

Se determinó:

$$P = 162,5 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1594,125 \text{ N}$$

$$E = 193 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 193 \text{ MPa}$$

Momento rectangular de inercia:

$$I = \frac{1}{4} \pi r^4 = 20,431 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

Ecuación 11 Momento rectangular de inercia.

Fuente: Libro “Mecánica de materiales”.

Se considera la porción ABC, se aplicó simetría sobre “C”.

Las reacciones a los extremos A y E serán iguales a P. ($R_A = R_E = P$).

Condiciones de contorno (mecánica de materiales):

$$[x = 0, y = 0], [x = a, y = y], \left[x = a, \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dx} \right], \left[x = \frac{L}{2}, \frac{dy}{dx} = 0 \right]$$

$$\begin{array}{ll}
0 < x < a & a < x < L - a \\
EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = Px & EI \frac{d^2y}{dx^2} = M = Pa \\
EI \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} Px^2 + C1 & EI \frac{dy}{dx} = Pax + C3 \\
EIy = \frac{1}{6} Px^3 + C1x + C2 & EIy = \frac{1}{2} Pax^2 + C3x + C4
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
[x = 0, y = 0]; C2 = 0 \\
\left[x = \frac{L}{2}, \frac{dy}{dx} = 0 \right]; C3 = -\frac{1}{2} PaL \\
\left[x = \frac{L}{2}, \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dx} \right]; C1 = \frac{1}{2} Pa^2 - \frac{1}{2} PaL \\
\left[x = \frac{L}{2}, y = y \right]; C4 = \frac{1}{6} Pa^3
\end{array}$$

Curva elástica en la posición BD.

$$\begin{array}{l}
y = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} Pax^2 + C3x + C4 \right) \\
y = \frac{P}{EI} \left(\frac{1}{2} ax^2 - \frac{1}{2} aLx + \frac{1}{6} a^3 \right)
\end{array}$$

Por deflexión en C tomamos $x = \frac{L}{2}$

$$\begin{array}{l}
y_c = \frac{P}{EI} \left(\frac{1}{8} aL^2 - \frac{1}{4} aL^2 + \frac{1}{6} a^3 \right) = -\frac{Pa}{EI} \left(\frac{1}{8} L^2 - \frac{1}{6} a^2 \right) \\
y_c = -\frac{Pa}{EI} \left(\frac{L^2}{8} - \frac{a^3}{6} \right)
\end{array}$$

Ecuación 12 Ecuación de la curva elástica.

Fuente: Libro “Mecánica de materiales”

Se reemplazan datos:

$$y_c = -\frac{1594,125 \text{ N} \times 0,0953 \text{ m}}{\left(193 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (20,4317 \times 10^3 \text{ mm}^4)} \left(\frac{1,0926 \text{ m}^2}{8} - \frac{0,0953 \text{ m}^3}{6} \right)$$

$$y_c = -4.6497 \times 10^{-12}m$$

$$y_c = 4,649 \times 10^{-9}mm$$

Entonces se determinó que la deflexión es despreciable y se puede utilizar la barra redonda solida con $D = 2,54 \text{ cm}$ (1 pulg), como viga de soporte para el peso de C_1 .

Para los soportes por tema de diseño de las vigas, se adecúa una pequeña plancha de $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ y un espesor de 6 mm , que será doblada hasta dar una media de circunferencia mayor de $2,54 \text{ cm}$ de diámetro.

Serán añadidos a las paredes de C_2 , por soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) y así evitar cualquier desbalance de cargas.

Entonces tomando en cuenta las dimensiones y pesos, se diseña la cámara en conjunto y se aplicara una pequeña simulación para determinar los esfuerzos y comprobar que el dimensionamiento cumple con las expectativas. (Anexo 6)

- **Dimensionamiento de mallas contenedoras**

Al trabajar dentro de C_1 es necesario que cuente con diámetros y alturas menores que el compartimiento. Para el diseño de estas mallas se utilizan barras sólidas, a continuación, se selecciona las características del sólido para el diseño:

BARRAS REDONDAS		NORMA ASTM A-276	ROUND BARS		
DIÁMETROS		PESO TEÓRICO APROXIMADO	CALIDAD O GRADO		
mm	Pulg.	Kg/m(7.85)	304	316	X 28*
3.175	1/8"	0.062	X		
4.763	3/16"	0.140	X		
6.350	1/4"	0.249	X	X	X
7.938	5/16"	0.388	X	X	X
9.525	3/8"	0.559	X	X	X
11.113	7/16"	0.761	X		
12.700	1/2"	0.994	X	X	X
14.288	9/16"	1.259		X	
15.875	5/8"	1.554	X	X	X
19.050	3/4"	2.237	X	X	X
22.225	7/8"	3.045	X	X	X
25.400	1"	3.978	X	X	

Figura 30 Barras solidas de Acero inoxidable.

Fuente: www.jahesa.com.

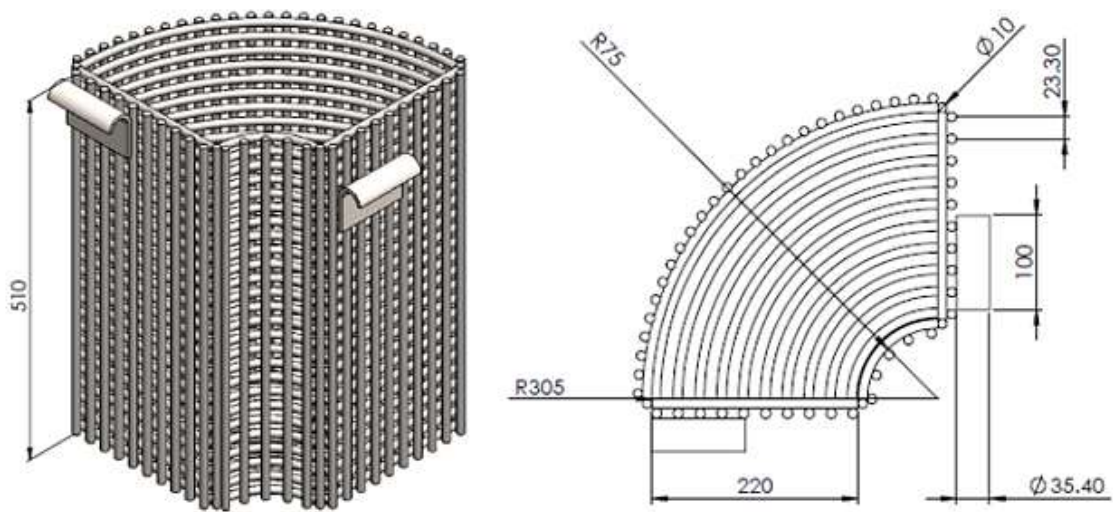


Figura 31 Dimensionamiento de mallas para almacenar rodajas de pulpa de mango.
Fuente: SolidWorks.

3.2.2. Selección de elementos del sistema de secado

3.2.2.1. Cálculo de transferencia de calor en los compartimientos y medio ambiente para la selección de resistencia eléctrica

Para el cálculo de transferencia de calor entre compartimientos en la cámara, será necesaria la convección natural, ya que nuestros fluidos están en un ambiente cerrado sin agitación.

Se considera la temperatura que alcanza la solución osmótica por YUPANQUI (2010) de 80°C y la del baño maría 90°C por las densidades de la solución, fruta y agua, que son muy cercanas a tener los mismos valores. Por ende, los líquidos a sobrecalentar presentan el mismo rango de densidad, lo que facilita la disposición de temperaturas.

i. Transferencia de calor del baño maría a la solución osmótica (incluyendo sulfitos) por las paredes de C_1

Se busca determinar si el cilindro vertical que contiene la solución pueda trabajarse como una placa simple vertical. Para esto es necesario que el diámetro sea suficientemente grande.

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{\frac{1}{4}}}$$

Es necesario hallar el número de Grashoff con datos de agua del baño maría que trabaja de 20°C a 85°C. (Anexo 19)

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_C^3}{\nu^2}$$

Donde:

g = aceleración gravitacional.

β = coeficiente de expansión volumétrica $\frac{1}{k}$

T_s = temperatura de la superficie en °C

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie en °C

L_C = longitud característica de la configuración geométrica.

ν = viscosidad cinemática del fluido m^2/s

Se tomarán las propiedades del agua a temperatura de película

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} = \frac{90 + 80}{2} = 85^\circ C$$

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat.} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vapor- ización, h _g kJ/kg	Calor específico, c _p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³

Figura 32 Propiedades del agua a 85°C.
Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

Entonces:

$$k = 0,673 \text{ W/m.K}$$

$$Pr = 2,08$$

$$\beta = 0,670 \times 10^{-3}$$

$$\rho = 968,1 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,333 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$L_c = 0,8$$

Se halla:

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,333 \times 10^{-3}}{968,1} = 3,439 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Obtenido todos los datos se halla Gr_L.

$$Gr_L = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2)(0,670 \times 10^{-3})(10 \text{ K})(0,8 \text{ m})^3}{(3,4397 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_L = 2,8442 \times 10^{11} \text{ es un flujo turbulento ya que cumple } Gr_L > 10^9$$

Entonces:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$$

$$0,902 \text{ m} \geq \frac{35(0,8)}{(2,8442 \times 10^{11})^{1/4}}$$

$$0,902 \text{ m} \geq 0,038$$

El cilindro que contiene la solución se puede tratar como una placa vertical.

Continuando con el cálculo, es necesario hallar el número de Nusselt.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(Ra_L)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Se determina Ra_L necesario:

$$Ra_L = Gr_L \times Pr$$

$$Ra_L = (2,8442 \times 10^{11})(2,08)$$

$$Ra_L = 5,915 \times 10^{11}$$

Entonces:

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(5,9159 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{2,08} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 1064,239$$

Entonces para la solución osmótica es necesario el cálculo para el coeficiente individual de transmisión del calor:

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

Ecuación 13 Coeficiente individual de transferencia de calor.

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”.

$$h = \frac{0,673 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0,8 \text{ m}} \times 1064,2393 = 895,291 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

También el área del cilindro tomándolo como placa vertical:

$$A_s = \pi DL = \pi(0,902 \text{ m})(0,8 \text{ m}) = 2,266 \text{ m}^2$$

Entonces se halla el flujo de calor que brinda el baño maría a la solución:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= hA_s(T_s - T_\infty) \\ \dot{Q} &= 895,2913 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times 2,2669 \text{ m}^2 \times 10 \text{ K} \\ \dot{Q} &= 20,295 \text{ kW} \end{aligned}$$

Se determinó que el baño maría entrega un flujo de calor de 20,295 kW a la solución a través de las paredes del cilindro de la solución,

ii. **Trasferencia de calor del baño maría a la solución por la tapa baja de C_1**

Se halla la longitud característica para poder trabajar como una placa horizontal con superficie caliente hacia abajo.

$$\begin{aligned} L &= \frac{A_s}{P} = \frac{L^2}{4L} \\ L &= \frac{0,902}{4} = 0,225 \text{ m} \end{aligned}$$

Las propiedades del agua a la temperatura de película.

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{T_s - T_\infty}{2} = \frac{90 + 80}{2} = 85^\circ\text{C} \\ k &= 0,673 \text{ W/m} \cdot \text{K} \\ Pr &= 2,08 \\ \beta &= 0,670 \times 10^{-3} \\ \nu &= 3,4397 \times 10^{-7} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Hallar el número de Grashoff.

$$Gr_L = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2)(0,670 \times 10^{-3})(90 - 80 \text{ }^\circ\text{C})(L_C^3)}{(3,4397 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2)(0,670 \times 10^{-3})(10 \text{ K})(0,2255 \text{ m})^3}{(3,4397 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_L = 6,37 \times 10^9$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 0,27(Ra_L)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0,27 [(6,37 \times 10^9)(2,08)]^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 91,604$$

Entonces:

$$h = \frac{0,673 \text{ W/m K}}{0,2255 \text{ m}} \times 91,604 = 273,390 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

El flujo de calor a la solución por la zona inferior de C_2 , será:

$$\dot{Q} = \left(273,3902 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right) (A_s)(90 - 80 \text{ }^\circ\text{C})$$

En este caso el A_s será $D_{C_2}^2$ por ser una placa horizontal

$$A_s = (D_{C_2})^2 = 0,813 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$\dot{Q} = 273,3902 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \times 0,8136 \text{ m}^2 \times 10 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 2224,302 \text{ W}$$

$$\dot{Q} = 2,224 \text{ kW}$$

Luego de obtener la cantidad de flujo de calor por la zona inferior de C_2 (2,224 kW) más la cantidad de flujo de calor a través de las paredes de C_2 (20,295 kW), se determinó que el baño maría entrega 22,519 kW como energía calorífica para la solubilización del fluido osmótico. Ver (Anexo 05) para determinar la posición de las resistencias y sensor en C_2 .

iii. **Transferencia de calor de baño maría al ambiente.** ($\leftarrow \rightarrow$)

Se trabaja con C_2 y al tener un diámetro mayor que C_1 se deduce que se puede trabajar como placa vertical.

Entonces se halla el número de Grashoff con datos de aire a 1 atm de presión, ya que la transferencia, mejor dicho, pérdida de calor será al ambiente. (Anexo 09)

Se hallan las propiedades a temperatura de película 55 °C.

Tabla 4.4.1: Propiedades del aire seco a presión atmosférica

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.867	0.982	8.64	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.965	11.90	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.975	12.49	6.482	16.62	8.842	0.7330
-80	1.828	0.983	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.990	13.64	7.850	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.995	14.20	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.7440
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.30	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.80	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.80	0.7350
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.40	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282
35	1.146	1.007	18.95	16.54	26.25	22.76	0.7268
40	1.117	1.007	19.18	17.02	26.62	23.45	0.7255
45	1.110	1.007	19.41	17.49	26.99	24.16	0.7241
50	1.092	1.007	19.63	17.97	27.35	24.87	0.7228
55	1.076	1.007	19.86	18.46	27.72	25.59	0.7215
60	1.060	1.007	20.08	18.95	28.08	26.31	0.7202
65	1.044	1.007	20.30	19.45	28.45	27.05	0.7190
70	1.029	1.007	20.52	19.95	28.81	27.79	0.7177
75	1.014	1.008	20.74	20.45	29.17	28.55	0.7166
80	0.999	1.008	20.96	20.97	29.53	29.31	0.7154
85	0.986	1.008	21.17	21.48	29.88	30.07	0.7143
90	0.972	1.008	21.39	22.00	30.24	30.85	0.7132
95	0.959	1.009	21.60	22.52	30.60	31.63	0.7121
100	0.946	1.009	21.81	23.05	30.95	32.42	0.7111

Figura 33 Propiedades del aire a la presión de 1 atm.

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

Entonces:

$$k = 0,0277 \text{ W/m K}$$

$$Pr = 0,7215$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{(55 + 273 \text{ K})} = \frac{1}{328 \text{ K}}$$

$$\nu = 1,846 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Lc = 1,2$$

Se halla Gr_L :

$$Gr_L = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1}{328 \text{ K}} \right) (90 - 20 \text{ }^\circ\text{C}) (1,2 \text{ m})^3}{(1,846 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_L = 1,061 \times 10^{12}$$

Se halla Ra_L :

$$Ra_L = (1,0616 \times 10^{12})(0,7215)$$

$$Ra_L = 7,659 \times 10^{11}$$

Se halla Nu :

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387(7,6594 \times 10^{11})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{0,7215} \right)^{9/16} \right]^{27/8}} \right\}^2$$

$$Nu = 1017,227$$

El coeficiente individual de transferencia de calor es:

$$h = \frac{0,02772 \text{ W/m K}}{1,2 \text{ m}} (1017,2278) = 23,497 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Se necesita área del cilindro:

$$A_s = \pi(D)(L) = \pi(1,092 \text{ m})(1,2 \text{ m}) = 4,119 \text{ m}^2$$

Por último, se halla la pérdida de calor del baño maría al ambiente:

$$\dot{Q} = \left(23,4979 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) (4,1190 \text{ m}^2) (70 \text{ K})$$

$$\dot{Q} = 6775,1495 \text{ W} = 6,775 \text{ kW}$$

La energía calorífica que se pierde a través de las paredes del cilindro C_2 por efecto Joule es de 6,775 kW.

iv. Transferencia de calor de baño maría al ambiente. (↓)

En este caso se trabaja como una placa horizontal con superficie caliente hacia arriba. Se halla el número de Grashoff tomando en cuenta que se usarán propiedades del aire a temperatura de películas halladas anteriormente.

$$k = 0,0277 \text{ W/m K}$$

$$Pr = 0,7215$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{(55 + 273 \text{ K})} = \frac{1}{328 \text{ K}}$$

$$\nu = 1,846 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L_c = 1,2 \text{ m}$$

También se determinó L_c , ya que esta longitud característica es diferente por ser una placa horizontal.

$$L_c = \frac{A_s}{P} = \frac{L^2}{4L} = \frac{1,092 \text{ m}}{4} = 0,273 \text{ m}$$

Entonces Gr_L :

$$Gr_L = \frac{(9,81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1}{328 \text{ K}} \right) (70 \text{ K}) (0,2731 \text{ m})^3}{(1,846 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr_L = 1,251 \times 10^{10}$$

Hallar Nu :

$$Nu = 0,15(Ra_L)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0,15 [(1,2513 \times 10^{10})(0,7215)]^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 312,337$$

El coeficiente individual de transferencia de calor es:

$$h = \frac{0,02772 \frac{W}{m K}}{0,2731 m} (312,3373) = 31,702 \frac{W}{m^2 K}$$

Entonces el flujo de calor perdido al ambiente por la parte de la tapa baja de C_2 es:

$$\dot{Q} = (31,7026 \frac{W}{m^2 K})(A_s)(65 K)$$

$$A_s = L^2 = 1,0926^2 = 1,193$$

$$\dot{Q} = 31,7026 \frac{W}{m^2 K} \times 1,193 m^2 \times 70 K = 2,649 kW$$

v. Transferencia de calor de baño maría al ambiente. (↑)

Es necesario hallar la longitud característica para poder trabajar como una placa horizontal con superficie caliente hacia abajo.

$$L = D_{C_2} - D_{C_1}$$

$$L = 1,092 - 0,902 = 0,190 m$$

Entonces:

$$L_c = \frac{L^2}{4L} = \frac{0,1906}{4} = 0,047 m$$

Hallar el número de Grashoff para aire a 1 atm.

$$Gr_L = \frac{(9,81 \frac{m}{s^2}) \left(\frac{1}{328 K}\right) (90 - 20 \text{ } ^\circ\text{C})(L_c^3)}{\left(1,846 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr_L = \frac{(9,81 \frac{m}{s^2}) \left(\frac{1}{328 K}\right) (70 K)(0,0476 m)^3}{\left(1,846 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)^2}$$

$$Gr_L = 6,625 \times 10^7$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 0,27(Ra_L)^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 0,27 [(6,6259 \times 10^7)(0,7215)]^{\frac{1}{4}}$$

$$Nu = 22,450$$

Entonces:

$$h = \frac{0,02772 \text{ W/m K}}{0,0476 \text{ m}} (22,4502) = 13,073 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

La pérdida de flujo de calor al ambiente por la superior de C_2 , será:

$$\dot{Q} = \left(13,0739 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \right) (A_s) (70 \text{ K})$$

En este caso el A_s será hallado por $(D_{C_2}^2 - D_{C_1}^2)$, ya que se tomarán ambos diámetros como L de una placa horizontal.

$$A_s = (D_{C_2}^2 - D_{C_1}^2) = (1,092^2 - 0,902^2) = 0,380 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$\dot{Q} = 13,0739 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \times 0,3801 \text{ m}^2 \times 70 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 347,857 \text{ W}$$

Luego de calcular las pérdidas por efecto Joule de C_2 es necesario realizar la sumatoria de estas para así determinar la energía total que sale del sistema, la cual es 9,771 kW.

vi. Selección de resistencia eléctrica

Por diseño se utilizan las resistencias eléctricas con cabezal, por sus características de adaptabilidad al proceso.

Para determinar el tipo y número de resistencias por catálogo (Anexo 11), es necesario contar con

$$QT_{\text{baño maría}} = Q_{\text{baño maría-solución}} + Q_{\text{baño maría-ambiente } (\leftarrow, \rightarrow, \downarrow, \uparrow)}$$

$$QT_{\text{baño maría}} = 22,519 \text{ kW} + 9,7718 \text{ kW}$$

$$QT_{\text{baño maría}} = 32,290 \text{ kW}$$

Por dimensiones de C_2 se busca acoplar la menor cantidad de resistencias, por ende se seleccionó resistencias con gran entrega de energía.

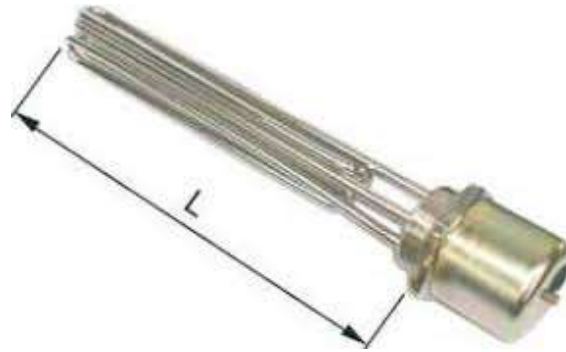


Figura 34 Resistencia forma 3U con doble vuelta.
Fuente: Catálogo Brototermic

CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U" CON DOBLE VUELTA

Código	L en mm	Rosca tapón pulgadas GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo	Peso en Kg	Clase térmica constructiva Electricfor	Gama caja de conexiones	
								P40 (1)	IP68 (2)
ED001	140	2"	1800	7,1	Inox	0,84	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED002C	140	2 1/2"	1800	7,1	Cu	1,2	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED003	170	2"	2400	7	Inox	0,92	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED003C	170	2"	2400	7	Cu	0,92	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED105	235	2"	1200	2,2	Inox	1,1	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED005	235	2"	3600	6,7	Inox	1,1	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED005C	235	2"	3600	6,7	Cu	1,1	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED107	345	2"	2700	3,1	Inox	1,4	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED007	345	2"	5400	6,3	Inox	1,4	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED007C	345	2"	5400	6,3	Cu	1,4	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED008	345	2 1/2"	5400	6,3	Inox	1,6	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED008C	345	2 1/2"	5400	6,3	Cu	1,6	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED009	445	2"	7200	6,2	Inox	1,6	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED009C	445	2"	7200	6,2	Cu	1,6	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED109	445	2 1/2"	7200	6,2	Inox	1,8	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED110	505	2"	3000	2,2	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED111	505	2 1/2"	3000	2,2	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED210	505	2"	4500	3,4	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED211	505	2 1/2"	4500	3,4	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED010	505	2"	9000	6,7	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED010C	505	2"	9000	6,7	Cu	1,8	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED011	505	2 1/2"	9000	6,7	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED011C	505	2 1/2"	9000	6,7	Cu	1,9	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED012C	680	2"	12000	6,6	Cu	2,3	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED013C	680	2 1/2"	12000	6,6	Cu	2,5	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED014C	835	2"	15000	6,6	Cu	2,9	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED015C	835	2 1/2"	15000	6,6	Cu	3,1	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED016C	990	2"	18000	6,5	Cu	3,4	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED017C	990	2 1/2"	18000	6,5	Cu	3,6	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G2

Figura 35 Selección de resistencia adecuada a la cámara.
Fuente: Catálogo Brototermic

Entonces se seleccionará las resistencias tipo calefactor con tapón de acoplamiento en latón, forma de 3U con doble vuelta. Serán necesarias 4 unidades para cubrir los 35 kW requeridos, el código de las unidades es ED010, que entrega 9 kW y es de acero inoxidable. Se distribuirán en la pared de C_2 con dimensiones exactas y estarán conectadas al sistema de control del proceso. Funcionarán como actuador del sistema.

3.2.2.2. Selección de tecle/polipasto para elevación de carga

Es necesario un mecanismo de elevación de cargas, para la movilidad de C_1 , esto comprende la extracción de las mallas contenedoras de los 100 kg de pulpa de mango deshidratado para la continuidad del proceso.

También se tiene en cuenta el mantenimiento para el contenedor de la solución, es por eso que se requiere retirarlo de la unión que tiene con C_2 ya que se diseñó para ser desmontable.

A continuación, se presentan 2 tipos de producto:



Figura 36 Tecele Eléctrico Cadena.

Fuente: www.prowinch.pe



Figura 37 Tecele palanca.

Fuente: www.prowinch.pe

A continuación, se presentan las características técnicas de ambos tipos de tecles:

Tabla 9 Especificaciones técnicas de tecles

Parámetros	Tecle manual de cadena	Tecle mecánico eléctrico
Capacidad (kg)	750	1000
Velocidad de elevación (m/min)	-	6,6
Altura de elevación (m)	1,5	6
Potencia del motor (kW)	-	1,5
Esfuerzo sobre la palanca para levantar carga total (kg)	14	-
Peso total (kg)	7	63
Marca	Prowinch	Prowinch
Modelo	Mini palanca G80	Tecle cadena trifásico
Código	PWYAL075	PWR1

Fuente: Autor de tesis de investigación.

Se decidió trabajar con el teclé manual de cadena, por la accesibilidad al precio, capacidad y altura de elevación sin sobredimensionamientos, mejor dicho capacidades exactas para el proceso de movimiento de carga.

3.2.2.3. Selección de equipo de secado.

Para la selección del equipo de secado es necesario saber las dimensiones y peso de las rodajas de pulpa de mango:

Las rodajas de mango fueron cortadas con las medidas de 10 cm de alto por 5 cm de ancho; pesan aproximadamente 60 gramos. Entonces si 0,005 m² de pulpa mango pesan 0,006 kg. Para los 100 kg se requiere un área de secado de 83,3 m².

Es necesario realizar un cuadro de comparación de los deshidratadores para estimar sus especificaciones técnicas y así seleccionar el más adecuado. Estos deshidratadores fueron presentados como tecnología actual existente en la parte superior del Marco Teórico.

Tabla 10 Comparación de equipos de deshidratado

Marca	Modelo	Tipo de deshidratado	Capacidad de deshidratación	Rango de temperatura de trabajo	Tamaño del equipo
IRConfort	IRCDi20	Infrarrojos lejanos	31,500 metros cuadrados	Manejable	3500 × 900 × 1200
Excalibur	COMM-4	Circulación de aire sobrecalentado	13,600 metros cuadrados	26°C - 93°C	736 × 673 × 1790
Klimatechnik	DSH-E-3.0	Circulación de aire sobrecalentado	3,600 metros cuadrados	40°C - 70°C	920 × 720 × 1700
Omat	Pedido	Circulación de aire sobrecalentado	85,000 metros cuadrados	20°C - 80°C	1824 × 1740 × 1820

Fuente: Autor de tesis de investigación

Se seleccionó el secador Omat (se realizó una cotización directa con el área de producción de la empresa Omat, solicitando los parámetros deseados), que cumple lo solicitado para el proceso. Aparte cuenta con una variedad de modelos adaptables a cualquier proceso.

Entonces los 100 kg producidos, se trabajará en 1 turno por día (6 horas de secado) para cubrir la demanda de producción.

3.2.2.4. Selección de equipo de control

Controlador PID

Luego de determinar las funciones del controlador PID, se presenta los modelos de PID más comunes en los procesos de industrias peruanas:

Tabla 11 Controladores PID

Marca	Modelo	Tipos de entrada - salida	Tipos de control	Uso industrial	Aspectos Generales
Eurotherm	3216	(Termocuplas, PT100) - (Relé, SSR)	Proporcional - PID	Procesos y temperatura	Puesta en servicio rápido y fácil, proporciona cualquier combinación de calentamiento, enfriamiento y alarma.
Autonics	TZ4ST	(PT100, Termocupla, Tensión o corriente) - (Relé, SSR)	PID (PIDF - PIDS)	Procesos industriales	Sintonía de los parámetros PID, rampas independientes de subida y bajada del valor deseado.

Fuente: Autor de tesis de investigación



Figura 38 PID Eurotherm 3216.
Fuente: eurothermonline.com



Figura 39 PID Autonics TZ4ST.
Fuente: www.autoniconline.com

Se trabajará con el controlador PID Eurotherm 3216, por cumplir con los requisitos, además de ser de instalación y manejo sencillo. Adecuado para el proceso de deshidratación por resistencias eléctricas.

Sensor RTD (PT100)

Entonces para la selección del sensor PT100 es necesario saber que el proceso trabajando dentro del rango de temperaturas de la clase A, a continuación, pasamos a determinar el sensor según catálogo.

To Order (Specify Model Number)						
Model No.	Operating Range (°C)	Accuracy Tolerance Class	Sheath Length (mm)	2 mm Dia. Price	3 mm Dia. Price	6 mm Dia. Price
PR-(**)-2-(*)-150	-30 to 350	A	150	£60.50	£41.50	£40.50
PR-(**)-2-(*)-300	-30 to 350	A	300	62.00	43.00	42.00
PR-(**)-2-(*)-600	-30 to 350	A	600	65.00	46.00	45.00
PR-(**)-2-(*)-150-MI	-200 to 350	A	150	75.50	56.50	55.50
PR-(**)-2-(*)-300-MI	-200 to 350	A	300	77.00	58.00	57.00
PR-(**)-2-(*)-600-MI	-200 to 350	A	600	80.00	61.00	60.00
PR-(**)-2-(*)-150-MI-B	-200 to 650	B	150	75.50	56.50	55.50
PR-(**)-2-(*)-300-MI-B	-200 to 650	B	300	77.00	58.00	57.00
PR-(**)-2-(*)-600-MI-B	-200 to 650	B	600	80.00	61.00	60.00

Figura 40 Modelos de PT100

Fuete: es.omega.com

Entonces el sensor de temperatura PT100, tendrá 15 cm de largo y 6 mm de diámetro para la vaina (tubo de protección) que es donde se resguardan las sondas.

3.2.2.5. Selección de equipo de transporte de la materia prima

En la siguiente tabla se expresa los tipos de fajas transportadoras y sus características técnicas.

Tabla 12 Fajas transportadoras DORMER

Marca	Modelo	Longitudes (m)	Carga y Velocidades	Uso industrial
Dorner	3200	95 - 1500 (ancho) y 900 - 30 (largo)	452 kg y 182,900 m/min	Para piezas de tamaño y peso mediano
Dorner	7200	40 - 450 (ancho) y 600 - 5500 (largo)	27 kg y 81 m/min	Para producto pesado que requiere varios niveles de diseño sanitario y diseños flexibles
Dorner	7360	10 - 1320 (ancho) y 1200 - 25200 (largo)	227 kg y 91 m/min	Para producto pesado que requiere varios niveles de diseño sanitario y diseños flexibles

Fuente: Autor de tesis de investigación

El equipo de transporte cuenta con varias configuraciones:



Figura 41 Configuración de fajas

Fuete: www.siscode.com



Figura 42 Faja transportadora Dorner serie 3200
Fuete: www.siscode.com



Figura 43 Faja transportadora Dorner serie serie 7200 – 7300
Fuete: www.siscode.com

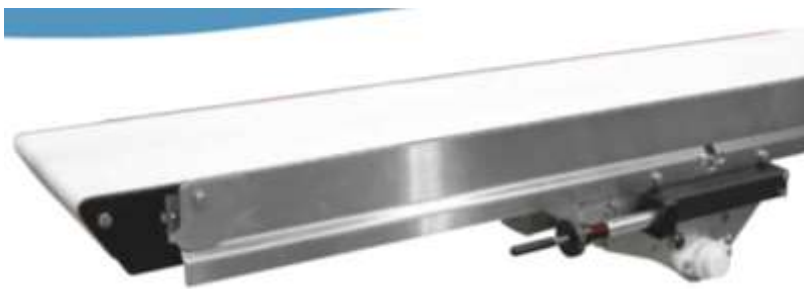


Figura 44 Faja transportadora Dorner serie serie 7360
Fuete: www.siscode.com

Se seleccionó la faja transportadora más adecuada al proceso, cumpliendo el rango de carga y longitudes, se trabajará con la Dorner serie 3200.

3.2.3. Metrado

- **Material para el cilindro de tratamiento ósmosis C_1**

De acuerdo a las dimensiones halladas para C_1 se realizará un cálculo necesario para determinar el material utilizado y el peso de la plancha.

Cilindro con $D = 0,902$ m, $h = 0,8$ m y espesor de la plancha 3 mm.

Hallamos perímetro del cilindro:

$$P_{cilindro} = \pi D = 2,833 \text{ m}$$

Área de la plancha para C_1 : $b \times h = 2,8337 \times 0,8 = 2,266 \text{ m}^2$

Área de la plancha de acero inoxidable 316 comercial $3,048 \times 1,524 = 4,645 \text{ m}^2$,
con un peso total de 111,48 kg.

Se determina por regla de tres simple que la plancha utilizada para C_1 tiene un peso de 54,405 kg.

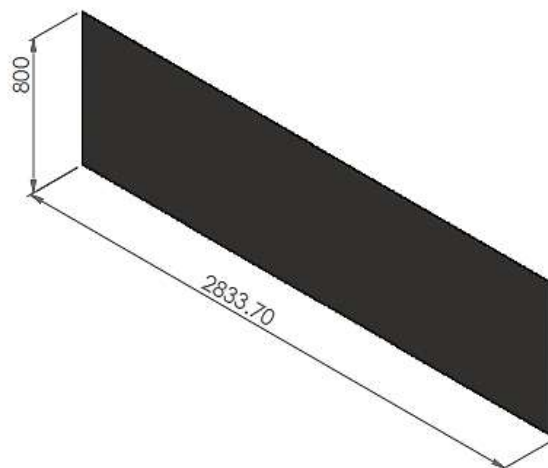


Figura 45 Material para el cilindro C_1
Fuente: SolidWorks

- **Material para tapa baja de C_1**

Con diámetro de 0,902 m y espesor de 3 mm, podemos determinar la cantidad y peso de material utilizado.

Área de la plancha para la tapa baja: $\pi r^2 = \pi(0,451^2) = 0,639 \text{ m}^2$

Área de la plancha comercial $2,418 \times 1,219 = 2,947 \text{ m}^2$, con un peso total de 71,33 kg.

Se determina por regla de tres simple que la plancha utilizada para la tapa baja de C_1 tiene un peso de 15,463 kg.

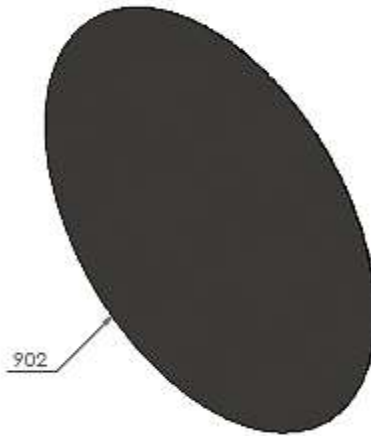


Figura 46 Material para tapa baja de cilindro C_1

Fuente: SolidWorks

- **Material para tapa de C_1**

Teniendo las mismas dimensiones que la tapa baja, entonces determinamos la cantidad y peso utilizado, de la plancha y de la platina.

Área de la plancha comercial $2,418 \times 1,219 = 2,947 \text{ m}^2$, con un peso total de 71,33 kg.

Área de la plancha para la tapa = $0,639 \text{ m}^2$ y peso de 15,463 kg.

El largo de la platina será igual al perímetro de C_1 además tendrá una altura de 1 cm y espesor de 3 mm; su peso aproximado será de 1,5 kg.

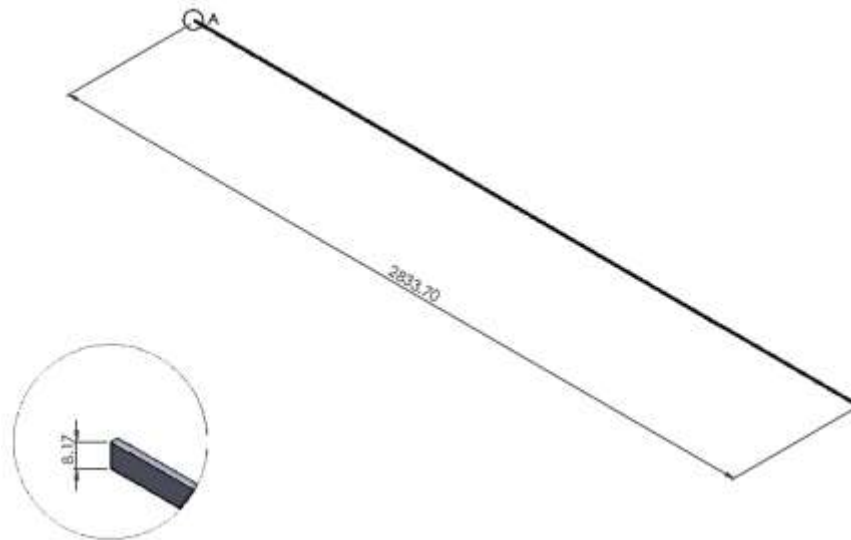


Figura 47 Material para platina de tapa de cilindro C_1
Fuente: SolidWorks

- **Material para cilindro contenedor de baño maría C_2**

De acuerdo a las dimensiones halladas para C_2 se realizará el cálculo necesario para determinar el material utilizado y el peso de la plancha.

Cilindro con $D = 1,092$ m, $h = 1,2$ m y espesor de la plancha 3 mm.

Hallamos el perímetro del cilindro de baño maría

$$P_{cilindro} = \pi D = 3,432 \text{ m}$$

Área de la plancha para C_2 : $b \times h = 3,4325 \times 1,2 = 4,119 \text{ m}^2$

Área de la plancha de acero inoxidable 316 comercial $2,418 \times 1,219 = 2,947 \text{ m}^2$, para cumplir con el área necesitada se utilizarán dos planchas, con un peso total de 142,66 kg.

Se determina por regla de tres simple que la plancha utilizada para C_2 tiene un peso de 99,680 kg.

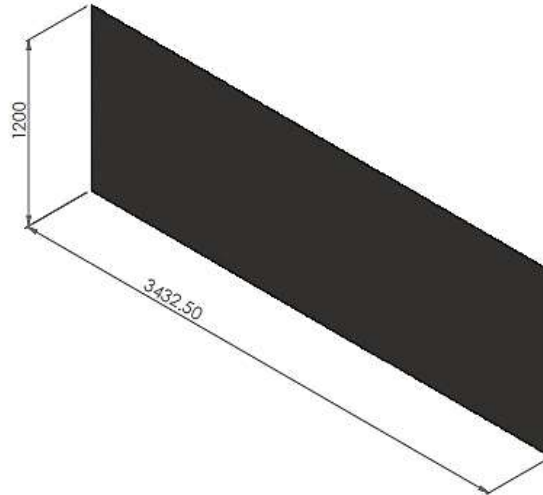


Figura 48 Material para el cilindro C_2
Fuente: SolidWorks

- **Material para tapa baja de C_2**

Con diámetro de 1,092 m y espesor de 3 mm, podemos determinar la cantidad y peso de material utilizado.

Área de la plancha para la tapa baja: $\pi r^2 = \pi(0,546^2) = 0,936 \text{ m}^2$

Área de la plancha comercial $2,418 \times 1,219 = 2,947 \text{ m}^2$, con un peso total de 71,33 kg.

Se determina por regla de tres simple que la plancha utilizada para la tapa baja de C_2 tiene un peso de 22,664 kg.

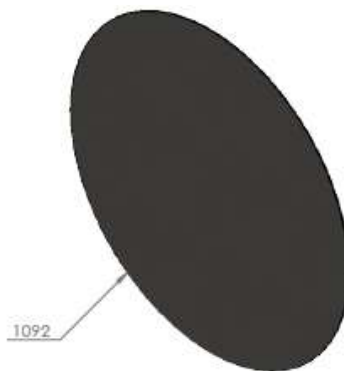


Figura 49 Material para tapa baja de cilindro C_2
Fuente: SolidWorks

Tabla 13 Material utilizado en el diseño de C_1 y C_2

Uso/Material	Planchas de Acero Inoxidable $e = 3\text{mm}$	
	1219 x 2418 (mm)	1524 x 3048 (mm)
Cilindro (C1)	-	1 unidad
Tapa baja de C1	1 unidad	-
Tapa de C1	1 unidad	-
Cilindro (C2)	2 unidades	-
Tapa baja de C2	1 unidad	-

Fuente: Autor de tesis de investigación.

- **Material para Vigas y soportes de Vigas**

Para las vigas que cruzan todo C_1 se utilizó dos barras sólidas de 1 pulg de diámetro con una longitud de $L = 1,902\text{ m}$.

La barra solida comercial cuenta con un peso de 3,978 kg.

Se determina por regla de tres simple que las vigas utilizadas para C_1 tienen un peso de 0,795 kg cada una.

Para los soportes se adecúa una pequeña plancha de $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ y un espesor de 6 mm , que será doblada hasta dar una media de circunferencia mayor de $2,54\text{ cm}$ de diámetro.

Área de la plancha comercial $2,418 \times 1,219 = 2,947\text{ m}^2$, con un peso total de 142,65 kg

Se determina por regla de tres simple que los soportes utilizados para C_2 tienen un peso de 0,12 kg cada uno

- **Material para mallas sostenedoras de las rodajas de pulpa de mango**

Se utilizaron barras sólidas de $\frac{3}{8}$ pulgadas para realizar el tejido de las mallas.

Se estima que se utilizó:

- 54 barras sólidas verticales de 0,5 m = 27 m
- 2 paredes de 26 barras sólidas horizontales de 0,22 m = 11,44 m
- 1 pared curva de 26 barras sólidas horizontales de 0,19 m = 4,94 m
- 1 pared menor curva de 26 barras sólidas horizontales de 0,08 m = 2,08 m
- 5 barras sólidas en la parte inferior de 0,19 m = 0,95 m

Tabla 14 Barras sólidas de acero utilizadas en el diseño

Uso/Material	Barras Sólidas de Acero Inoxidable (7,85m)	
	D = 3/8 pulg	D = 1 pulg
Vigas Sostenedoras de C1	-	2,40 metros
Malla 1 para pulpa de mango en la cámara	46,41 metros	-
Malla 2 para pulpa de mango en la cámara	46,41 metros	-
Malla 3 para pulpa de mango en la cámara	46,41 metros	-
Malla 4 para pulpa de mango en la cámara	46,41 metros	-

Fuente: Autor de tesis de investigación

- **Soldadura utilizada para el diseño mecánico de la cámara**

El método empleado para la soldadura de acero inoxidable es la TIG que se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, para la protección del arco de esta soldadura se utiliza el argón.

La ventaja de este método es, básicamente, la obtención de cordones o uniones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de

procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión.

Se determinará la cantidad de soldadura utilizada como metros lineales.

Tabla 15 Cantidad de soldadura para el diseño de la cámara

Uso/Material	Metros a soldar
Soldadura de cilindro C1	0,800
Soldadura de tapa baja a cilindro C1	2,830
Soldadura de platina a tapa de C1	2,790
Soldadura de cilindro C2	1,200
Soldadura de tapa baja a cilindro C2	3,430
Soldadura de orejas para detener vigas a cilindro C2	0,200
Soldadura de vigas sostenedoras de cilindro C1	0,630
Soldadura de mallas sostenedoras de materia prima	185,500
Soldadura de base para C2	0,600
Soldadura de base para C1 (mantenimiento)	0,480

Fuente: Autor de tesis de investigación

3.2.4. Balance de energía (primera ley de la termodinámica)

El funcionamiento de la cámara está basado en la transferencia de calor del baño maría a la solución sacarosa y así deshidratar las rodajas de mango.

La solución tendrá un aumento de temperatura desde los 20° C hasta los 80° C para lograr la solubilización. Entonces es necesario hacer el cálculo para hallar el calor que necesita la solución.

$$Q = mC_p\Delta T$$

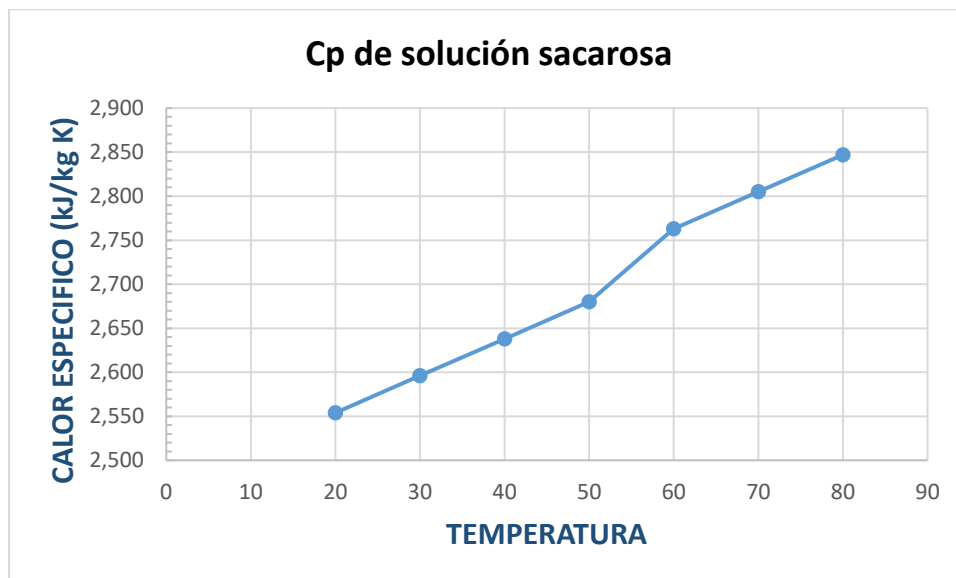
Ecuación 14 Balance de energía para sistemas de cerrados.

Fuente: Libro “Transferencia de calor”

$$Q_{solucion} = m(C_p solucion)\Delta T$$

Se necesita los calores específicos de la solución sacarosa desde los 20° C hasta los 80° C, se trabajará con 70 grados BRIX. (Anexo 07)

Se realizó una gráfica con los diversos calores específicos.



Gráfica 4 Calores específicos de la solución sacarosa a distintas temperaturas.

Fuente: Autor de tesis de investigación.

De todos estos valores de C_p se tomará uno promedio, el cual es

$$C_p \text{ solución} = 2,6975 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Es necesario saber que $C_p \text{ promedio acero inoxidable 316} = 0,4647 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

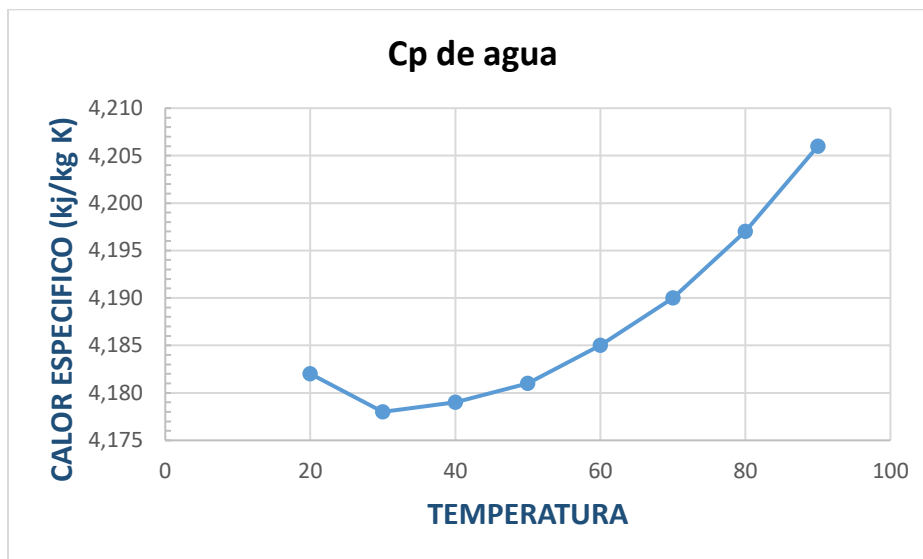
Sabiendo los C_p tenemos $Q_{\text{solución}}$:

$$Q_{\text{solución}} = (C_p \text{ solución})m\Delta T + (C_p \text{ acero inoxidable 316})m\Delta T$$

$$Q_{\text{solución}} = 2,6975 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 400\text{kg} \times 60\text{K} + 0,4647 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 88,421\text{kg} \times 60\text{K}$$

$$Q_{\text{solución}} = 67205,354 \text{ kJ}$$

Entonces el cálculo para hallar el calor que se necesita para el baño maría que trabaja de 20°C hasta los 90°C. (Anexo 08)



Grafica 5 Calores específicos del agua a distintas temperaturas.

Fuente: Autor de tesis de investigación.

Se tomará el valor promedio de $C_p \text{ agua} = 4,1872 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

Entonces Q_{agua} :

$$Q_{\text{agua}} = (C_p \text{ agua})m\Delta T + (C_p \text{ acero inoxidable 316})m\Delta T$$

$$Q_{\text{agua}} = 4,1872 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 378,7171 \text{ kg} \times 70\text{K} + 0,4647 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 122,824 \text{ kg} \times 70\text{K}$$

$$Q_{\text{agua}} = 114998,838 \text{ kJ}$$

Para el balance energético se toma en cuenta los kW que entrega las resistencias al baño maría como energía calorífica que ingresa al sistema.

También se determina que la energía calorífica perdida por las paredes de C_2 más la energía que entrega el baño maría a la solución, se toma como energía calorífica que sale del baño maría. La ecuación del balance de energía determina que:

$$E_{entra} - E_{sale} = \Delta E_{sistema}$$

$$E_{entra} = E_{sale}$$

Ecuación 15 Primera ley de la termodinámica

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

Entonces:

$$P_{resistencias} = Q_{baño\ maría-ambiente\ (\leftarrow, \rightarrow, \downarrow, \uparrow)} + Q_{baño\ maría-solución} + Q_{extras}$$

$$36\ kW = (6,67\ kW + 2,649\ kW + 0,347\ kW) + 22,519\ kW + Q_{extras}$$

$$36\ kW = 9,77\ kW + 22,519\ kW + Q_{extras}$$

El ingreso de la potencia eléctrica establece un balance con la energía calorífica que se despiden del baño maría. Con esto se demuestra que es un sistema equilibrado.

Es necesario determinar el tiempo en el que alcanza los 80°C la solución osmótica.

La unidad eléctrica de calentamiento (resistencias) de 36 kW suministrara energía a razón de 36 kJ por segundo. Por lo tanto, el tiempo necesario para que las resistencias suministren el calor total se determina a partir de:

$$\Delta T = \frac{\text{Energía total transferida}}{\text{Velocidad de transferencia de la energía}} = \frac{E_{ent}}{\dot{E}_{transferencia}}$$

Ecuación 16 Tiempo de calentamiento

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{solución}} + Q_{\text{agua}}}{36 \text{ kW}} = \frac{67205,354 \text{ kJ} + 114998.838 \text{ kJ}}{36 \text{ kW}}$$
$$\Delta T = 5061,227 \text{ segundos} = 1 \text{ hora } 24 \text{ min}$$

El rango del tiempo para que la solución osmótica alcance la temperatura deseada está dentro del tiempo de operación para la solubilización del fluido.

IV. ESTIMACIÓN DE COSTOS CON RELACIÓN AL DISEÑO

4.1. Material a considerar en el diseño

Material y costo total a considerar en el diseño de las cámaras C_1 y C_2 .

Tabla 16 Material utilizado para el diseño

Material Acero Inoxidable (316 y 304)	Cantidad metros	Cantidad unidades	Costo por unidad (soles)	Costo total (soles)
Plancha 1219 x 2418	-	5	973,50	4867,50
Plancha 1524 x 3048	-	1	1049,00	1 049,00
Barra solida 3/8 pulg	185,5	31	75,00	2 325,00
Barra solida 1 pulg	2,4	0,5	240,00	156,00
				<u>8 397,50</u>

Fuente: Autor de tesis de investigación

Metraje de soldadura y costo total para ensamblaje de cámaras C_1 y C_2 .

Tabla 17 Soldadura a utilizar en el diseño

Uso/Material	Metros a soldar	Costo por metro (soles)	Costo total (soles)
Soldadura de cilindro C1	0,80	80.00	64,00
Soldadura de tapa baja a cilindro C1	2,83	80.00	226,40
Soldadura de platina a tapa de C1	2,79	80.00	223,20
Soldadura de cilindro C2	1,20	80.00	96,00
Soldadura de tapa baja a cilindro C2	3,43	80.00	274,40
Soldadura de orejas para detener vigas a cilindro C2	0,20	80.00	16,00
Soldadura de vigas sostenedoras de cilindro C1	0,63	80.00	50,40
Soldadura de mallas sostenedoras de materia prima	185,50	10.00	1 855,00
			<u>2 805,40</u>

Fuente: Autor de tesis de investigación

A continuación se muestra lo que incluye el costo por metro de soldadura.

La mano de obra, incluye limpieza y ruido de la estructura a soldar.

Tabla 18 Descripción del costo por metro de soldadura

Soldadura por metro lineal			Soles	
Producto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Argón	m ³	0,5	44,00	22,00
Varilla de Tungsteno	-	0,25	20,00	5,00
Aporte para soldar (5/32 pulg) de un metro	-	1,0	8,00	8,00
Mano de obra	-	1,0	45,00	45,00
				80,00

Fuente: Autor de tesis de investigación

4.2. Análisis económico del proyecto

4.2.1. Determinación del VAN y TIR para la viabilidad del proyecto.

Tabla 19 Inversión del proyecto

Inversión	Precio (Soles)	Precio (Dólares)
Transporte	300,00	91,19
Montaje e instalación	1 000,00	303,95
Resistencias eléctricas	200,00	60,79
Costo de diseño	11 202,9.	3 405,14
Secador	120 000,00	36 474,16
Fajas transportadoras	4 500,00	1 367,78
Teclé mecánico	900,00	273,56
Controlador PID	300,00	91,19
Sensor	150,00	45,59
Costo total		42 113,34

Fuente: Autor de tesis de investigación

Tabla 20 Gastos Anuales

Gastos Anuales				
Descripción de gastos	Monto mensual en soles	Monto mensual en dólares	Cantidad	Monto anual
Personal de operación	1 500,00	455,93	4	23 708,20
Mantenimiento	200,00	60,79	2	1 458,96
Total de gasto				25 167,17

Fuente: Autor de tesis de investigación

Tabla 21 Consumo Energético

Consumo de energía			
Elementos de cámara deshidratadora	Potencia kW	Tiempo de uso h	Energía kW-h
Secador	30,000	6,000	180,000
Fajas transportadoras	0,745	0,500	0,373
Tecla mecánico	0	0	0
Controlador PID	0,004	1,000	0,004
Sensor	0	0	0
Resistencia de la cámara	36,000	1,000	36,000
Total de energía para generar 100 kg de pulpa de mango			216,380

Fuente: Autor de tesis de investigación

Tabla 22 Costo de generación y precio de venta del producto

Costo del (kW-h)	0,98
-------------------------	------

Costo de generación de 1 kg de pulpa de mango deshidratado		
Costo del kg del mango	4,00	soles
Costo de 1 kg en energía	2,12	soles
Total	6,12	soles

Precio de venta	4,00	dólares diarios
Ganancia por kg	2,14	dólares diarios
Ganancia en 100 kg	213,97	dólares diarios
Ganancia en 100 kg	61 622,39	dólares anuales

Fuente: Autor de tesis de investigación

Tabla 23 Estimación del VAN y TIR.

Gastos	Ganancia	-34730.09
42 113,34	61 622,39	19 509,06
42 113,34	61 622,39	19 509,06
42 113,34	61 622,39	19 509,05
42 113,34	61 622,39	19 509,05
42 113,34	61 622,39	19 509,05
42 113,34	6 162,39	19 509,05

VAN	S/. 42 853,68
TIR	52%

Fuente: Autor de tesis de investigación

Dados los resultados podemos expresar la viabilidad del proyecto. Siendo un proyecto muy comprometedor y nuevo en la industria.

V. CONCLUSIONES

- La tecnología actual de secado más frecuente en el Perú, presenta al deshidratador por aire caliente como la primera opción de inversión, equipos cuyo tiempo de trabajo es elevado (6 a 8 horas), lo cual afecta la fibrosidad de la pulpa de fruta, también, la calidad del producto final no es la deseada en porcentajes de pérdidas de agua y ganancia en sólidos.

Según el Anuario de producción Agrícola Nacional muestra números altos en producción de mango en la región, ya que en el intervalo de años 2012 – 2016 hubo un aumento del 84% en cosecha y producción, catalogando a Motupe como la principal fuente de mango Kent y Haden Lambayecano.

- El proceso de producción y la vida útil que recorre la fruta se definió en dos actividades; preparación de la materia prima y deshidratado de las rodajas de pulpa de mango.
- Los elementos y componentes de la cámara para tratamiento osmótico fueron dibujados en el software SolidWorks, no sin antes haber realizados los cálculos necesarios para el dimensionamiento de las piezas y la selección de los equipos que complementan el sistema de secado combinado.
- Se realizó la evaluación económica del proyecto, teniendo en cuenta el costo de la instalación de los equipos y la disminución en los gastos anuales por operación del sistema en su totalidad; como resultado la inversión se considera factible.

VI. RECOMENDACIONES

Concluida esta tesis, se considera interesante investigar sobre otros aspectos relacionados con el diseño de sistemas de secado y se propone:

- Extender los estudios y procesos expuestos en esta tesis para evitar pérdidas en la entrega de flujo de calor de la cámara de baño maría C_2 hacia el ambiente.
- Se sugiere adecuar un lineamiento de procesos para el mantenimiento del sistema de secado en su totalidad. Procesos que tienen como finalidad, realizar mantenimientos preventivos/correctivos periódicamente, además de su limpieza.
- Trabajar en la automatización y control del proceso osmótico, además de adaptar las condiciones térmicas de la cámara C_1 para otra fruta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Yupanqui Cristobal, «Influencia de la sacarosa y glucosa en la deshidratacion osmotica del mango criollo,» Satipo - Perú, 2010.
- [2] M. d. C. S. Silva, «Diseño de un Sistema de Deshidratacion y Secado de mango a nivel de laboratorio,» Piura - Perú, 2015.
- [3] A. Apaza, «Descripcion del mango,» 2012. [En línea]. Available: <http://transporteupc.blogspot.pe>.
- [4] Collazos, «Tablas peruanas de composicion de alimentos,» *Ministerio de Salud, Instituto nacional de Salud y centro nacional de alimentacion y nutricion*, 1996.
- [5] M. d. A. y. Riego, «Produccion Agricola,» *Anuario de Produccion Agricola*, 2012 - 2016.
- [6] L. P. y. C. Martinez, «Tecnicas para el deshidratado de mango,» *Tecnicas para el deshidratado de mango*, 2011.
- [7] M. Parzanese, «Tecnologías para las Industrias Alimentarias: Deshidratacion osmotica,» [En línea]. Available: www.alimentosargentinos.gob.ar.
- [8] Y. Cengel, *Transferencia de calor y masa*, Mc Graww Hill, 2007.
- [9] E. R. J. D. D. M. F. Beer, *Mecanica de materiales*, México: Mc Graww Hill, 2010.
- [10] A. G. M. D. R. G. Sachetti, «Efectos combinados de sacarosa - sal sobre la cinetica de transferencia de materia y la aceptabilidad del producto,» *Journal of Food Engineering*, vol. 49, pp. 163 - 173 , 2001.
- [11] E. C. C. Aucancela, «Diseño y construccion de un secador de tunel para la deshidratacion del maiz,» Riobamba - Ecuador, 2009.

- [12] C. J. Geankoplis, *Proceso de transportes y operaciones unitarias*, México, 1998.
- [13] W. L. McCabe, *Operaciones unitarias en ingeniería Química*, Mc Graw Hill , 2007.
- [14] E. Carbone, «Ficha técnica del acero inoxidable,» *Carbone Stainless Steel*, 2018.

VIII. ANEXOS

Anexo 01: Densidad y viscosidad de disoluciones acuosas.

3.4.2 Densidad y viscosidad de disoluciones acuosas				
Producto	Concentración %	Temp. °C	Densidad kg/m ³	Viscosidad Ns/m ² × 10 ³
Acido acético	-	20	1050	1.2
Cloruro cálcico	24	-23	1238	12.5
	25	0	-	4.55
	25	20	-	2.4
	25	40	-	1.28
	25	60	-	0.72
Cloruro sódico	22	2	1240	2.7
	22	0	1190	6.1
Sacarosa	20	20	1070	1.92
	20	80	-	0.59
	60	20	-	60.2
	60	80	-	5.4
	60	95	-	3.7
Acido sulfúrico	-	20	1830	25.0

Fuente: Manual de datos para ingeniería de los alimentos.

Anexo 02: Densidad y volumen de pulpa de fruta.

PULPA	DENSIDAD = MASA/VOLUMEN	PRESENTACION EN GRAMOS	EQUIVALENTE EN VOLUMEN mL y CC
Lulo	1030,00	1000	970,87
Mora	1036,00	1000	965,25
Naranja	1100,00	1000	909,09
Manzana	1000,00	1000	1000,00
Limon	1056,00	1000	946,00
Guanabana	1072,00	1000	932,00
Mango	1090,00	1000	917,00
Mandarina	1110,00	1000	900,90
Durazno	1082,00	1000	924,21
Tamarindo	1100,00	1000	909,09
Piña	1057,00	1000	946,07
Curuba	1058,00	1000	945,18
Uva	1052,00	1000	950,57
Pera	1107,00	1000	903,34
Fresa	1028,00	1000	972,76
Tomate	1072,00	1000	932,84
Papaya	1072,00	1000	932,84
Guayaba	1085,00	1000	921,66

Fuente: Área de calidad de la empresa Alimentos S.A.S

Anexo 03: Formatos y detalles de las planchas de acero inoxidable 316.

Dimensiones y peso de planchas de Acero inoxidable de mayor uso 4 x 8 pie (1,219 x 2418 mm) y 5 x 10 pie (1,524 x 3,048 mm)			
Espesor Nominal		Peso (Kg)	
mm	Pulgadas	4 x 8	5 x 10
0,30	1/85	7,13	11,15
0,40	1/64	9,51	14,86
0,45	1/57	10,70	16,72
0,50	1/54	11,89	18,58
0,54	1/46	12,84	20,07
0,60	1/40	14,27	22,30
0,70	1/36	16,64	26,01
0,80	1/32	19,02	29,73
0,90	1/27	21,40	33,45
1,00	1/24	23,78	37,16
1,20	1/20	28,53	44,59
1,50	1/16	35,66	55,74
2,00	5/64	47,55	74,32
2,50	3/32	59,44	92,90
3,00	1/8	71,33	111,48
4,00	5/32	95,10	148,64
4,76	3/16	113,17	176,89
6,00	1/4	142,65	222,97
7,90	5/16	187,83	293,57
9,52	3/8	226,34	353,77
12,00	-	285,30	445,93
12,70	1/2	301,95	471,95
19,05	3/4	452,92	707,92
25,00	-	594,38	929,03
25,40	1	603,89	943,89
31,75	1.1/4	754,87	1179,87
38,10	1.1/2	905,84	1415,84
50,80	2	1207,79	1887,79

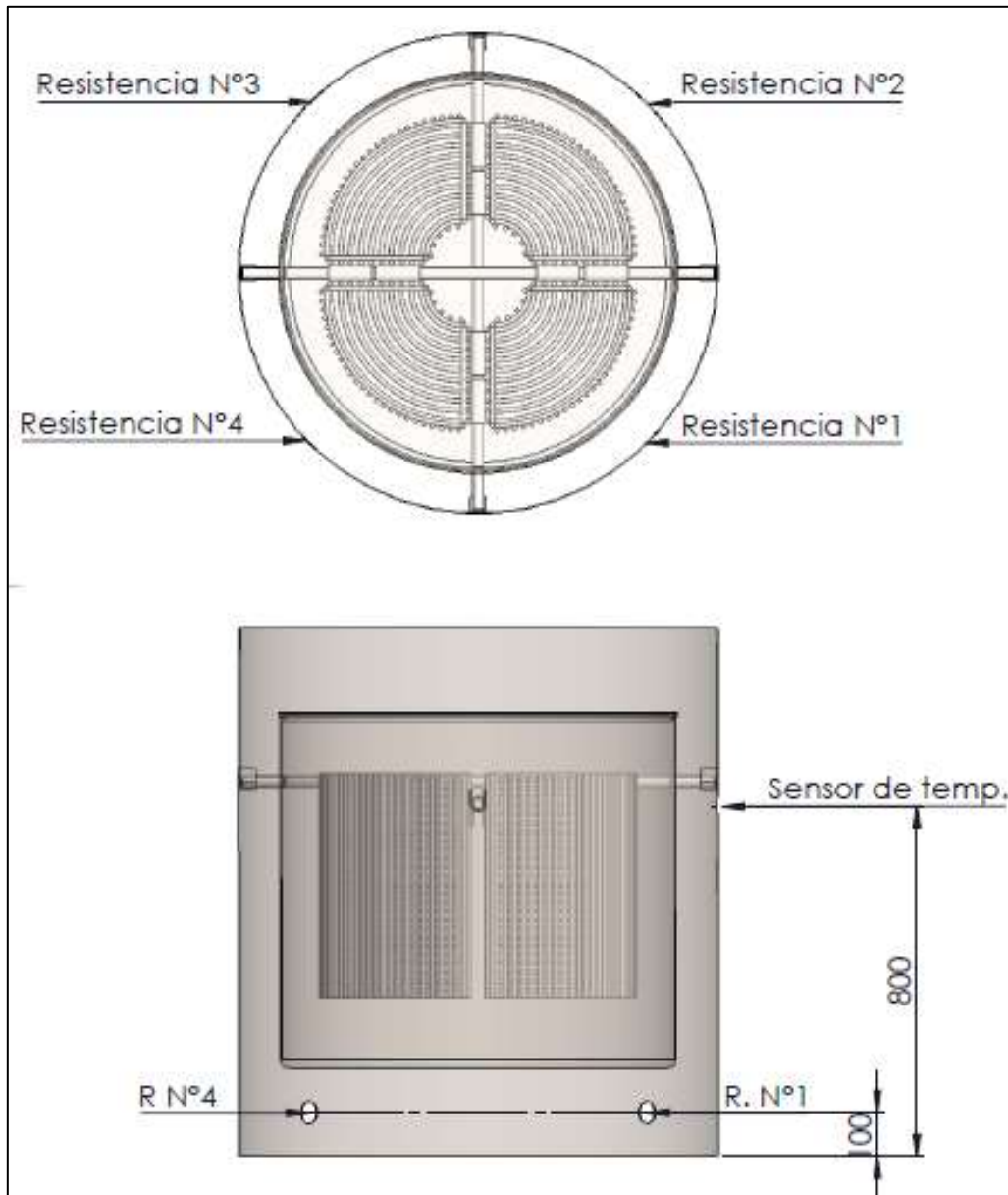
Fuente: www.jahesa.com.pe

Anexo 04: Formatos de barras redondas solidas de acero inoxidable 316.

BARRAS REDONDAS					
Diámetro		Peso Aprox.	Diámetro		Peso Aprox.
mm.	Pulg.	Kg.	mm.	Pulg.	Kg.
3.175	1/8	0.062	44.450	1.3/4	12.182
3.810	3/20	0.089	45.000	-	12.485
4.763	3/16	0.140	50.000	-	15.413
6.350	1/4	0.249	50.800	2	15.911
7.938	5/16	0.388	53.000	-	17.319
9.525	3/8	0.559	55.000	-	18.650
11.113	7/16	0.761	57.150	2.1/4	20.137
12.000		0.888	63.500	2.1/2	24.860
12.700	1/2	0.994	65.000	-	26.049
13.000		1.042	66.675	2.5/8	27.409
15.875	5/8	1.554	70.000		30.210
16.000		1.578	73.025	2.7/8	32.878
19.050	3/4	2.237	75.000	-	34.680
20.000		2.466	76.200	3	35.799
22.225	7/8	3.045	80.000	-	39.458
25.000		3.853	88.900	3.1/2	48.726
25.400	1	3.978	90.000	-	49.940
28.575	1.1/8	5.034	100.000	-	61.654
31.750	1.1/4	6.215	101.600	4	63.643
33.000		6.714	110.000	-	74.601
34.925	1.3/8	7.520	114.300	4.1/2	80.548
38.000		8.903	120.000	-	88.782
38.100	1.1/2	8.950			

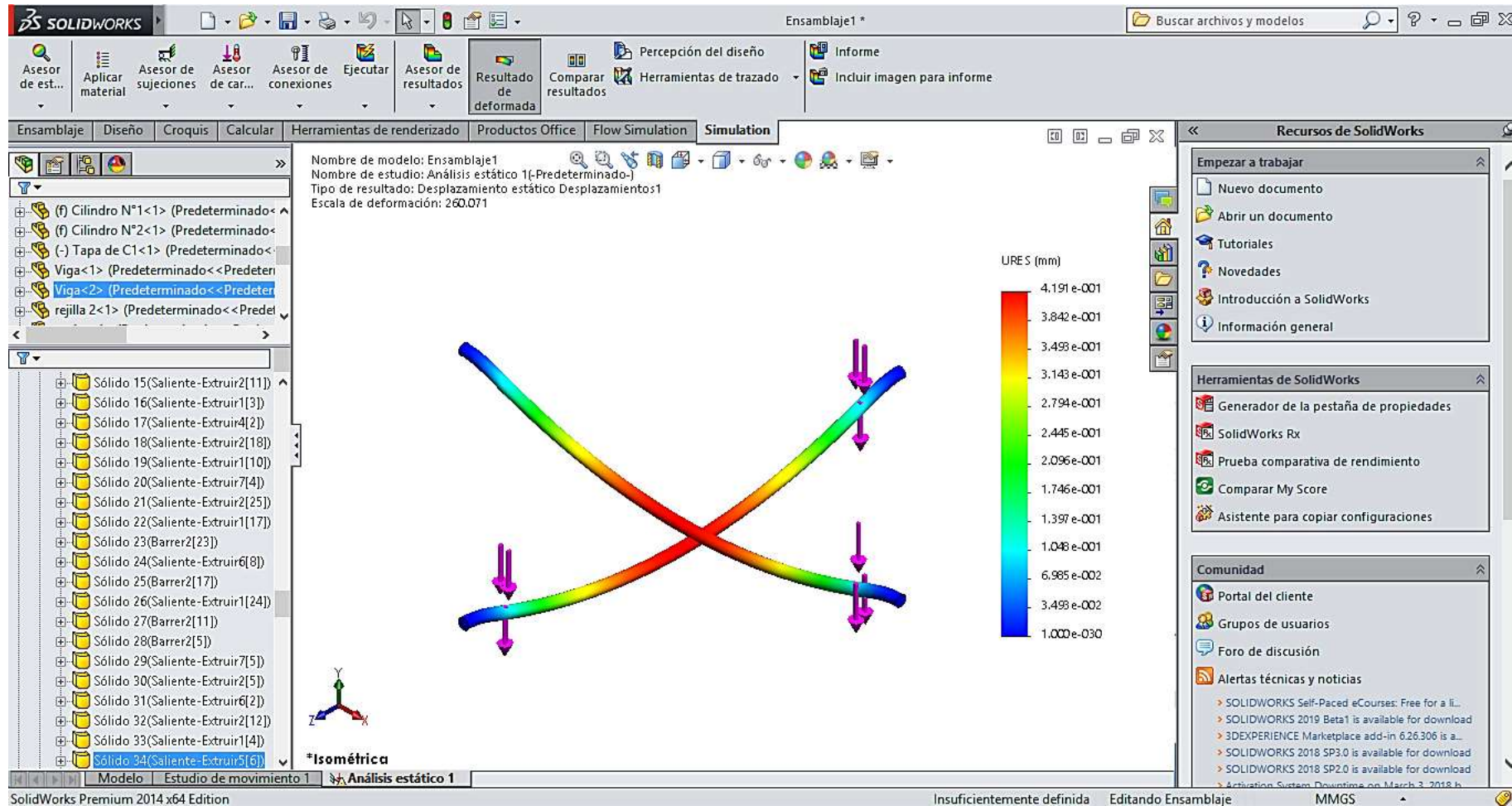
Fuente: www.jahesa.com.pe.

Anexo 05: Distribución de puertos de resistencias eléctricas y sensor de temperatura y vista total de la cámara.



Fuente: SolidWorks

Anexo 06: Simulación fuerzas



Fuente: SolidWorks

Anexo 07: Calores específicos de la solución sacarosa.

208 **SUCROSE**

Table 8.13 Specific heat (kJ/kg K) of sucrose and its solutions (From Lyle, 1957)

Temperature (°C)	Water	Concentration of sucrose solutions (g/ 100 g of solution)									Sucrose crystal
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	
0	4.187	3.936	3.684	3.433	3.182	2.931	2.680	2.428	2.177	1.926	1.164
10	4.187	3.936	3.684	3.475	3.224	2.973	2.721	2.470	2.219	2.010	1.202
20	4.191	3.936	3.726	3.475	3.224	3.014	2.763	2.554	2.303	2.052	1.235
30	4.195	3.977	3.726	3.517	3.266	3.056	2.805	2.596	2.345	2.135	1.269
40	4.199	3.977	3.726	3.517	3.308	3.098	2.847	2.638	2.428	2.219	1.306
50	4.204	3.977	3.768	3.559	3.349	3.140	2.889	2.680	2.470	2.261	1.340
60	4.212	3.977	3.768	3.559	3.349	3.140	2.973	2.763	2.554	2.345	1.172
70	4.216	3.977	3.810	3.601	3.391	3.182	3.014	2.805	2.596	2.386	1.411
80	4.224	3.977	3.810	3.601	3.433	3.224	3.056	2.847	2.680	2.470	1.444
90	4.233	4.019	3.810	3.643	3.475	3.266	3.098	2.889	2.721	2.554	1.478
100	4.241	4.019	3.852	3.643	3.475	3.308	3.140	2.973	2.763	2.596	1.516

Fuente: Libro “Handbook of starch hydrolysis products and their derivatives”

Anexo 08: Tabla de propiedades del agua a diferentes temperaturas.

TABLA A-9													
Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.633 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

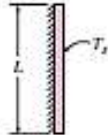
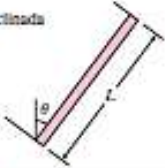
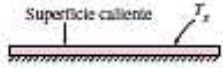
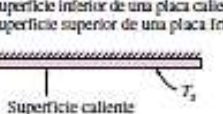
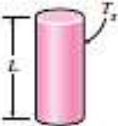
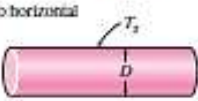

Fuente: Libro "Transferencia de Calor y masa"

Anexo 09. Tabla de propiedades del aire a diferentes temperaturas.

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

Anexo 10. Configuraciones geométricas para la convección natural.

TABLA 9-1			
Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies			
Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$ $10^3 - 10^{12}$ Todo el Intervalo	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left[0.825 + \frac{0.387Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	L		Utilícese las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $Ra < 10^9$
Plástico horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)  b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$ $10^4 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra^{1/3}$ (9-23) $Nu = 0.27Ra^{1/4}$ (9-24)
Cilindro vertical 	L		Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando $D \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$
Cilindro horizontal 	D	$Ra_D \leq 10^{12}$	$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.559/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right]^2$ (9-25)
Esfera 	D	$Ra_D \leq 10^{11}$ $(Pr \geq 0.7)$	$Nu = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.459/Pr)^{1/4}]^{1/4}}$ (9-26)

Fuente: Libro “Transferencia de calor y masa”

Anexo 11. Catálogo de resistencias eléctricas.

CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U"									
Código	L en mm	Rosca tapón pulgadas GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo	Peso En Kg	Clase térmica constructiva Electric for	Gama caja de conexiones	
								IP40 (1)	IP66 (2)
DP001	180	2"	1500	8,3	Inox	0,76	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
DP001C	180	2"	1500	8,3	Cu	0,76	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
DP003	260	2"	2250	7,5	Inox	0,87	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
DP003C	260	2"	2250	7,5	Cu	0,87	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
DP005	350	2"	3000	7	Inox	1,0	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
DP005C	350	2"	3000	7	Cu	1,0	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
DP007	520	2"	4500	6,6	Inox	1,2	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
DP007C	520	2"	4500	6,6	Cu	1,2	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
DP009	680	2"	6000	6,4	Inox	1,4	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
DP009C	680	2"	6000	6,4	Cu	1,4	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
DP010	680	2 1/2"	6000	6,4	Inox	1,6	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
DP025	180	1 1/2"	1500	8,3	Inox	0,53	T-300-E	C-MENZ	Gama P1
DP025C	180	1 1/2"	1500	8,3	Cu	0,53	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP030C	180	1 1/2"	2000	9,5	Cu	0,53	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP026C	260	1 1/2"	2250	7,5	Cu	0,63	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP027C	350	1 1/2"	3000	7	Cu	0,79	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP031C	290	1 1/2"	3000	8,4	Cu	0,71	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP028C	520	1 1/2"	4500	6,6	Cu	1,0	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP029C	680	1 1/2"	6000	6,4	Cu	1,2	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP032C	315	1 1/2"	6000	14,5	Cu	0,74	T-175-E	C-MENZ	Gama P1
DP021	415	1 1/2"	1200	2,2	Inox	0,84	T-300-E	C-MENZ	Gama P1
DP022	635	1 1/2"	2700	3,1	Inox	1,1	T-300-E	C-MENZ	Gama P1
DP023	956	1 1/2"	3000	2,2	Inox	1,5	T-300-E	C-MENZ	Gama P1
DP024	956	1 1/2"	4500	3,4	Inox	1,5	T-300-E	C-MENZ	Gama P1

CALEFACTOR CON TAPÓN DE ACOPLAMIENTO EN LATÓN, FORMA "3U" CON DOBLE VUELTA									
Código	L en mm	Rosca tapón pulgadas GAS	Wattios	W/cm ²	Material tubo	Peso en Kg	Clase térmica constructiva Electric for	Gama caja de conexiones	
								IP40 (1)	IP66 (2)
ED001	140	2"	1800	7,1	Inox	0,84	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED002C	140	2 1/2"	1800	7,1	Cu	1,2	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED003	170	2"	2400	7	Inox	0,92	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED003C	170	2"	2400	7	Cu	0,92	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED105	235	2"	1200	2,2	Inox	1,1	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED005	235	2"	3600	6,7	Inox	1,1	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED005C	235	2"	3600	6,7	Cu	1,1	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED107	345	2"	2700	3,1	Inox	1,4	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED007	345	2"	5400	6,3	Inox	1,4	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED007C	345	2"	5400	6,3	Cu	1,4	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED008	345	2 1/2"	5400	6,3	Inox	1,6	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED008C	345	2 1/2"	5400	6,3	Cu	1,6	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED009	445	2"	7200	6,2	Inox	1,6	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED009C	445	2"	7200	6,2	Cu	1,6	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED109	445	2 1/2"	7200	6,2	Inox	1,8	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED110	505	2"	3000	2,2	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED111	505	2 1/2"	3000	2,2	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED210	505	2"	4500	3,4	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED211	505	2 1/2"	4500	3,4	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED010	505	2"	9000	6,7	Inox	1,8	T-300-E	C-PA-2"	Gama M1
ED010C	505	2"	9000	6,7	Cu	1,8	T-175-E	C-PA-2"	Gama M1
ED011	505	2 1/2"	9000	6,7	Inox	1,9	T-300-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED011C	505	2 1/2"	9000	6,7	Cu	1,9	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED012C	680	2"	12000	6,6	Cu	2,3	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED013C	680	2 1/2"	12000	6,6	Cu	2,5	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED014C	835	2"	15000	6,6	Cu	2,9	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED015C	835	2 1/2"	15000	6,6	Cu	3,1	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G1
ED016C	990	2"	18000	6,5	Cu	3,4	T-175-E	C-PA-2"	Gama M2
ED017C	990	2 1/2"	18000	6,5	Cu	3,6	T-175-E	C-FE-2"1/2	Gama G2

Fuente: www.brototermic.com