



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN HORNO PARA EL
SECADO DE CACAO EN LA
POBLACIÓN DE BORBURATA
UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO
CABELLO. ESTADO CARABOBO**

Autores:

Pisellini Marchegiani Giovanna

Riera Eduardo

Tutora:

Ing. Alicia Pizzella



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE CACAO EN LA
POBLACIÓN DE BORBURATA UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO
CABELLO. ESTADO CARABOBO**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autores: Pisellini Marchegiani Giovanna
Riera Eduardo
Tutora: Ing. Alicia Pizzella

San Diego, Diciembre 2019



FI-N -002-2019-6CE (TG)

Valencia, 31 de enero de 2020

Ciudadanos:
Pisellini M, Giovanna F.
21.234.217
Riera L, Eduardo A.
18.107.428
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2020 de fecha 14-01-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE CACAO EN LA POBLACIÓN DE BORBURATA UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO CABELLO. ESTADO CARABOBO** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación de la Ing. Alicia de Pizzella C.I:4.598.880 como Tutora Académica que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira
Decano de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

LL/a.a.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Alicia Pizzella, portador de la cédula de identidad N° V-4.598.880, en mi carácter de tutor del Trabajo Especial de Grado presentado por los ciudadanos, Pisellini Marchegiani S. Giovanna F., portadora de la Cédula de Identidad N° V-21.234.217 y Riera L. Eduardo A. portador de la cedula de identidad N° V-18.107.428, titulado **DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE CACAO EN LA POBLACIÓN DE BORBURATA UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO CABELLO. ESTADO CARABOBO.** Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 26 días del mes de Febrero del año dos mil veinte.

Firma

Ing. Alicia Pizzella

C.I.: V- 4.598.880




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

San Diego, Febrero 2020

ACTA DE REVISIÓN DEL PROYECTO TRABAJO DE GRADO


Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el proyecto trabajo de grado: **DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE CACAO EN LA POBLACIÓN DE BORBURATA UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO CABELLO. ESTADO CARABOBO** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Alicia Pizzella
Tutor Académico


Firma

20-2-20
Fecha

Ing. Alicia Pizzella
Tutor Metodológico


Firma

20-2-20
Fecha

AGRADECIMIENTOS

Agradezco inicialmente a Dios todo poderoso por darme sabiduría y guiar mis pasos, ya que sin su voluntad no hubiese alcanzado este sueño tan importante en mi vida.

A mis padres (Rosario Lovel de Riera y Henry Riera) por sus apoyos incondicionales que me dieron a lo largo de mi carrera, para así lograr mi meta, así como también a mis hermanos (Rosario Riera y Henry Riera).

A la Ingeniero Alicia Yáñez de Pizzella por ser mi tutora académica y metodológica por darme y guiarme en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado, ya que con sus conocimientos y ayuda pude lograr realizarlo de manera correcta.

De la misma forma agradezco a las personas que me apoyaron y prestaron su colaboración en este proyecto como familiares (Raquel, Sonia, Xiomara, Lisandra y mis sobrinos Lisanda, Henlis, Justo y Besy), amigos (Humberto Díaz y Beiker Abarca por su ayuda y apoyo), y profesores por toda su enseñanza y consejos durante todo este tiempo.

Riera Eduardo

Agradezco primeramente a Dios, por jamás dejarme sola y guiarme en cada paso dado, por ayudarme a tomar las mejores decisiones en mi vida.

A mis padres Pisellini Marchegiani Omar y Smith Beatriz que hasta el último momento, me dieron todo su apoyo y guiaron cada uno de mis pasos, dándome los mejores consejos y siempre creyendo en mí. A mi hermana Pisellini Marchegiani Ornela por siempre darme palabras de apoyo y darme ese impulso que muchas veces me hizo falta.

A mi novio Lavieri Carlos, por su apoyo incondicional en todo momento y por jamás permitirme abandonar mis metas, tú creíste más en mí que yo misma.

A mi tío Federico Smith por acompañarme durante todo este camino, sin tu ayuda no lo hubiera logrado. A mi tío Eloy Smith por ayudarme a cumplir mis metas cuando más te necesite. A mi tía Gisella Pandolfi y a mi padrino Javier Pandolfi por no permitir que me desviara de mis metas, siempre manteniéndome dentro del camino.

Y finalmente a mis amigos que formaron parte de mi vida durante todo este camino, prestando su apoyo y compañerismo; debo mencionar especialmente a Díaz Humberto y Abarca Beiker por prestar su apoyo. A mi amigo Pastor Colmenares, mas que un amigo un hermano, gracias por acompañarme en cada paso desde bachillerato.

A todos los profesores que me ayudaron a formarme como profesional, gracias por su labor y por la pasión con la que realizan su trabajo, a la Ing. Alicia Pizella gracias por guiarnos hasta el final para poder cumplir esta meta.

Pisellini Marchegiani Giovanna

ÍNDICE

CONTENIDO	Pp.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Formulación del Problema	5
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación del Problema	5
1.5 Limitaciones	6
1.6 Alcance	6
II MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la Investigación	8
2.2 Bases Teóricas	10
2.2.1 El cacao en Venezuela.....	10
2.2.2Cacaos Criollos	11
2.2.3 Criollos Andinos	11
2.2.4 Criollos Porcelana.....	12
2.2.5 Criollos Pentágonas.....	12
2.2.6 Cacaos Trinitarios o Deltanos.....	12
2.2.7 Cacaos Forasteros Amazónicos.....	13
2.2.8 Proceso de secado del cacao	15
2.2.9 Estudio termodinámico para el secado de cacao	19
2.2.11 Transferencia de Calor para el secado de cacao.....	38

2.3 Definición de Términos Básicos	50
III MARCO METODOLÓGICO	53
3.1 Tipo de Investigación	53
3.2 Diseño de la Investigación.....	54
3.3 Nivel de investigación	55
3.4 Población y Muestra	55
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	56
3.6 Fases de la investigación	57
IV RESULTADOS	59
4.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de cacao en la población de Borburata.	59
4.1.1 Clima en Puerto Cabello.....	59
4.1.2 Características físicas y organolépticas del cacao en Puerto Cabello	60
4.1.3 Proceso de fermentación del cacao en Borburata	62
4.1.5 Análisis de la situación actual	65
4.2 Realizar un estudio térmico para la selección de la tecnología más adecuada para efectuar el proceso de secado del cacao	68
4.2.1 Identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado del cacao	68
4.2.2 Selección del secador	69
4.2.3 Cálculos termodinámicos.....	69
4.2.4 Cálculo de calor requerido para el secado.....	71
4.2.5 Principales pérdidas de calor en el secador	74
4.2.6 Cálculo del tiempo de secado	80
4.2.7 Selección de resistencias térmicas.....	81
4.3.8 Simulación térmica.....	83
4.3 Diseño del sistema de secado de cacao.....	85
4.3.1 Diseño de la cámara de secado.....	85
4.3.2 Diseño mecánico del eje de transmisión	87
4.3.3 Diseño de la estructura de soporte.....	91

4.3.4 Selección de los elementos de acople	92
4.3.5 Selección del sistema de transmisión de potencia	94
4.3.6 Selección de fuente de alimentación.....	96
3.4 Realizar un análisis económico para demostrar la factibilidad del proceso.....	96
3.4.1 Factibilidad técnica	97
3.4.2 Factibilidad de tiempo	97
3.4.3 Factibilidad económica	98
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS	103
ANEXOS	106
Anexo A	106
Anexo B	107
Anexo C	108
Anexo D.....	108
Anexo E	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pp.
1 Cacao criollo.....	9
2 Tipos de cacao.....	11
3 Secadores adiabáticos.....	15
4 Sistema cerrado.....	17
5 proceso de cambio de fase en sustancias puras.....	23
6 Proceso de cambio de fase durante la ebullicion, estado 3.....	24
7 Proceso de cambio de fase, estado 4.....	24
8 Proceso de cambio de fase a vapor sobrecalentado.....	25
9 Curva de saturacion liquido-vapor de una sustancia pura.....	26

10	Diagrama T-v de una sustancia pura, para la definición del punto crítico ..	27
11	Diagrama P-V de una sustancia pura, representación del punto crítico.....	27
12	Sustancia pura a la presión y temperatura del punto triple.....	28
13	Diagrama P-T de sustancias puras.....	28
14	Dos formas de cartas psicométricas.....	30
15	Típicas isotermas de humedad de equilibrio en la temperatura de las sustancias: fibra (1) asbesto, PVC (2) 508 C, carbón de madera (3), papel kraft (4), yute (5), trigo (6), papas (7).....	32
16	Descripción de los fenómenos de transferencia de calor y de masa.....	33
17	Sección transversal de una pared plana.....	35
18	Conducción unidimensional a través de paredes planas en serie.....	35
19	Analogía eléctrica para paredes en paralelo.....	36
20	Tipos de transferencia de calor.....	42
21	Curva típica de secado.....	43
22	Velocidad de secado.....	44
23	Tabla de datos históricos del tiempo en Puerto Cabello.....	52
24	Tabla de requisitos de calidad del cacao en grano beneficiado.....	53
25	Mapa de sabores del cacao.....	54
26	Mapa de sensorial del cacao.....	55
27	Proceso de fermentación del cacao.....	56
28	Proceso de secado manual del cacao.....	64
29	Selección del cacao.....	64
30	Balance de energía en el intercambiador de calor.....	72
31	Esquema de resistencia para un secador rotatorio sin aislamiento térmico.	79
32	Resistencia blindada para cámaras caliente	83
33	Análisis térmico de la cámara de secado	84
34	Análisis térmico de la cámara de secado en corte transversal	84
33	Cámara de secado.....	85

34	Compuertas de alimentación y descargas.....	86
35	Estructura de las paletas renovadoras de cacao.....	87
36	Propiedades volumétricas del eje.....	88
37	Resultado de las tensiones de Von-Mises.....	89
38	Resultado de las deformaciones unitarias del eje.....	89
39	Factor de seguridad del eje.....	90
40	Ensamble del eje y las paletas.....	91
41	Estructura de soporte.....	91
42	Ensamblaje del horno.....	92
43	Fuente de alimentación.....	96

ÍNDICE DE TABLA

Tabla	Pp.	
1	Parámetro iniciales para el proceso de secado.....	69
2	Flujos de entrada y salida de granos de cacao.....	71
3	Datos iniciales necesarios.....	72
4	Datos obtenidos de la tabla de propiedades térmicas del aire y agua saturada a las temperaturas de trabajo.....	73
5	Dimensiones del secador.....	74
6	Características del aire a temperatura fílmica 36°C	75
7	Resultado obtenidos del estudio térmico	81
8	Características de las resistencias.....	82
9	Dimensiones de la cámara de secado.....	83
10	Dimensiones de las tapas laterales.....	84
11	Dimensiones de las puertas de alimentación y descarga.....	85
12	Dimensiones de chapa inferior de la paleta.....	86
13	Dimensiones y materiales de cada pieza seleccionada en el diseño mecánico....	91
14	Costo de cada componente del horno.....	96

15 Comparación de la factibilidad del proceso de secado artificial frente al secado natural.....	97
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	Pp.
1 En cuánto tiempo se lleva a cabo el secado del cacao.....	65
2 Cómo se hace en los tiempos de lluvia.....	66
3 Qué edad tienes.....	67
4 Problemas físicos presentado durante la vida laboral.....	68
6 Encuentras factible la realización de un dispositivo de secado artificial (horno secador).....	69



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA**

**DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE CACAO EN LA
POBLACIÓN DE BORBURATA UBICADA EN LA CIUDAD DE PUERTO
CABELLO. ESTADO CARABOBO**

Autores: Pisellini Marchegiani Giovanna y Riera Eduardo

Tutor: Ing. Alicia Pizzella

Fecha: Diciembre 2019

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la elaboración de un horno para el secado de cacao proveniente de la población de Borburata en la Ciudad de Puerto Cabello. Estado Carabobo, se realizaron los estudios pertinentes para el diseño del dispositivo para que cumpla con las especificaciones necesarias para el secado del cacao trinitario de la zona, el cual contiene un 45% de humedad inicial aproximadamente, entre los parámetros más importantes a controlar se tienen la temperatura; la cual no puede exceder de 60°C, la velocidad para remover el producto que no puede exceder de 6 rpm y la humedad final del cacao que debe estar entre 6% y 7%, además se hizo uso de materiales, normas y especificaciones necesarias para mantener las propiedades organolépticas del cacao; así como la calidad del producto haciendo uso de un secador artificial.

Descriptor: Horno de secado, Estudio térmico, Modelo.

INTRODUCCIÓN

En la mayor parte de los países productores de cacao a nivel mundial, se utilizan actualmente técnicas naturales para el secado de este producto. Venezuela es uno de los primeros productores y exportadores de cacao, este se caracteriza por ser de alta calidad e incluso uno de los mejores; sin embargo, los pequeños productores enfrentan serias complicaciones en épocas de lluvia, puesto que el producto cosechado no puede ser secado de forma natural, es decir aprovechando la energía solar por simple exposición del grano y esto genera pérdidas económicas por descomposición del producto.

Existen sistemas de secado artificial que utilizan aire caliente obtenido a partir de la combustión de gas licuado de petróleo o de trozos de madera seca. Estos sistemas consisten en cabinas de hormigón que en su parte interna poseen una cama metálica con perforaciones que permiten la circulación del aire caliente. El cacao es dispuesto en una capa extendida a lo largo y ancho de la cama. El producto obtenido alcanza los niveles de humedad requeridos, alrededor del 8 % de humedad, pero las condiciones organolépticas no satisfacen a plenitud, debido a la contaminación de olores producidos por efectos de la combustión de la madera, perjudicando el aroma del cacao.

Los sistemas artificiales utilizados para el secado de cacao, tanto a nivel industrial como artesanal, son de carácter empírico, es decir que funcionan, pero no de forma óptima. Este trabajo pretende cubrir varias etapas, tales como el estudio de las condiciones climáticas y ambientales de la población de Borburata, el estudio térmico necesario para el diseño del horno que se empleará para el secado del cacao, a manera de conseguir las condiciones organolépticas adecuadas, mantener la calidad del producto y evitar las pérdidas económicas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Es indiscutible el protagonismo del cacao en la historia económica de Venezuela. A la llegada de los españoles a tierra firme, ya el cacao era conocido por los aborígenes que poblaban el territorio de Venezuela. Según Fundacite (1999): durante la época de la colonia el cultivo se expandió por toda la costa del país. Así mismo, Leal, (1993) indica que:“El desarrollo del cultivo del cacao, debió haber comenzado alrededor de 1525, pues en 1558 o 1559 viaja Sancho Briceño a pedirle al monarca una reforma en la administración colonial para hacer venir de España al puerto de Borburata; esta especie de merced les fue concedida el 8 de diciembre de 1560. Desde esta época hasta 1574 o 1575, venía todos los años un navío a Borburata y luego hacia la Guaira”. Ya en 1620 Venezuela exportaba volúmenes apreciables de cacao fundamentalmente a México y solo una pequeña parte a la Península (España), progresivamente se fue incrementando la exportación a la Península y a Europa en general. Cope, (1976).

Es así, según Olavarriaga, (1729); que Venezuela desde las primeras exportaciones en el siglo XVI se constituye en el principal proveedor de cacao, primero a México, país el cual se le atribuye haber evidenciado tan importante producto; luego a España (entre 1620 y 1699 se exportaron 20.000 toneladas de las cuales 16.000 fueron a México y solo 4.000 a España) manteniéndose con estas exportaciones el mito de que fue México que introdujo el consumo del chocolate en el mundo. De esta forma el cacao fue de gran importancia en la economía del país, en un estudio realizado por la Organización Internacional del Cacao,(ICCO, 2013) las moliendas de cacao en grano alcanzaron la cifra de 3.929 miles de toneladas en el período 2011/2012. Más tarde, en el año cacaotero 2012/2013, las oliendas se

incrementaron 2,4 %, alcanzando 4.052 miles de toneladas; lo mismo ocurrió en el 2013/2014, a una tasa aproximada de 6,15%. Este comportamiento se atribuye al crecimiento de la demanda de la manteca de cacao en los mercados maduros de Europa y de América del Norte. Las estimaciones más recientes de la ICCO (2016), como ya se ha indicado, mantiene la tendencia creciente en la cuantía de las moliendas a nivel mundial, siendo el cacao venezolano el de mayor demanda por su calidad.

La comunidad de Borburata ubicada en la ciudad de Puerto Cabello en el estado Carabobo dedicada a la recolección y secado del cacao; por muchos años han realizado el secado del mismo a la intemperie y de forma manual; al realizar el proceso de esta manera se puede notar que durante el transcurso del secado se presentan varios obstáculos, uno de ellos es el cambio climático; anteriormente el clima durante el año era bastante estable, teniendo varios meses de verano lo cual permitía realizar el proceso de secado tranquilamente. En la actualidad el clima puede variar ya sea de lluvia a sol y viceversa, tornando la tarea mucho más complicada, causando además un incremento en el desgaste físico del personal o incluso la pérdida de la materia prima, ya que con un clima tan inestable el personal debe vigilar constantemente el proceso, pues si se mojara el cacao se perdería completamente la producción, a su vez se sabe que un proceso manual es mucho más lento, por lo que la productividad es baja y si a esto se le agrega la pérdida de la materia prima y la imposibilidad de realizar el trabajo a causa del cambio climático pues la economía de esta comunidad está siendo realmente afectada.

Después de las consideraciones nombradas anteriormente se observa que es un problema multifactorial; entre ellos los cambios climáticos, que causan la disminución o pérdida completa de la producción, el factor humano que viene desgastándose paulatinamente debido al alto esfuerzo físico que implica un proceso manual e incluso obsoleto y la baja o nula producción lo que afecta directamente a la economía de la población.

1.2 Formulación del Problema

¿Cómo mejorar el proceso de secado de cacao para la población de Borburata ubicada en la ciudad de Puerto Cabello. Estado Carabobo?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un horno para el secado de cacao en la población de Borburata ubicada en la ciudad de puerto cabello, Estado Carabobo

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diagnóstico de la situación actual del proceso de secado de cacao en la población de Borburata.
2. Realizar un estudio térmico para la selección de la tecnología más adecuada para efectuar el proceso de secado del cacao.
3. Diseño del sistema de secado de cacao.
4. Realizar un análisis económico para demostrar la factibilidad del proceso.

1.4 Justificación del Problema

En lo social este proyecto es beneficioso ya que será una forma de obtener el cacao seco listo para su comercialización de una manera más eficiente, evitando las enfermedades ergonómicas en el personal que realiza el proceso de forma manual en la actualidad. Esta investigación a nivel económico genera un impacto positivo ya que los niveles de producción incrementaran, el tiempo de secado se disminuirá en comparación con el secado de forma natural y a su vez el secado de forma artificial evitará la pérdida del producto ocasionada por los cambios climáticos.

En lo ecológico al momento de realizar la recolecta del cultivo, el ambiente se ha visto afectado ya que gran parte de esta cosecha se ha perdido por los cambios climáticos, por lo que el productor se ve en la necesidad de recolectar una nueva cosecha para cumplir con la producción, afectando el equilibrio ecológico y ambiental de la zona. En lo tecnológico con esta investigación se actualizará el proceso de secado, modificando el método de forma manual a un proceso automatizado y finalmente en lo académico, este trabajo especial de grado servirá de

apoyo para las próximas investigaciones que estén relacionados con otros alimentos que necesiten un secado previo para su comercialización.

1.5 Limitaciones

Al momento de realizar este proyecto, se ven presentes varios aspectos importantes que se deben tomar en cuenta; entre ellas está el factor económico para la creación del prototipo de horno de secado de cacao que se va a realizar; este prototipo se realizará de forma simulada con un programa digital, además al momento de diseñar el horno es necesario efectuar una investigación previa, que por la falta de estabilidad ambiental y el tiempo para la investigación se encontrará una escases información para que el diseño cumpla con todos los factores necesarios para un secado optimo en cualquier condición presentada.

1.6 Alcance

El desarrollo de este proyecto permitirá elaborar un sistema para el secado de cacao como una propuesta de gran utilidad para la comunidad de Borburata ubicada en la Ciudad de Puerto Cabello, Estado Carabobo. Por lo tanto para permanecer dentro del alcance de la investigación, se realizaran acciones elementales metódicamente, ya declaradas en los objetivos específicos: Conocer las propiedades del cacao y estudiar sus condiciones, investigar las condiciones ambientales del sector, realizar un estudio térmico para obtener un secado de cacao óptimo, determinar mediante un estudio la selección tecnológica adecuada para el proceso de secado, diseñar el sistema de secado de cacao y por ultimo realizar un análisis económico para demostrar la factibilidad del proceso.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Al haberse planteado el problema y trazado el objetivo general y los específicos que determinaron los fines de la investigación, se verá en la necesidad de establecer los aspectos teóricos que respaldarán la investigación, tomando en consideración las características y naturaleza del mismo con respecto a las variables a trabajar, como lo es el secado de cacao y el implemento de mecanismos para realizar el proceso. Para ello, se precisarán diversos trabajos de investigación, que permitirán el uso fundamental como antecedentes, bases teóricas y conceptuales de proceso de secado de cacao de forma mecanizada.

Un primer estudio, realizado por López, C., Jaime, A. (2015), egresado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador; realizó una investigación titulada **“Desarrollo de un sistema de secado de cacao de aroma utilizando combustible convencional y energía renovable”** para optar al título de Ingeniero Mecánico. El objetivo principal de la investigación fue desarrollar un sistema de secado de cacao de aroma, utilizando combustible convencional y energía renovable, orientado al análisis técnico y económico para una futura implementación. La investigación se fundamentó en un diseño experimenta de campo, se determinó las temperaturas óptimas para el secado del cacao de aroma, en el Cantón Ventanas, Provincia de Los Ríos (Ecuador), para mediante un proceso controlado generar un producto de calidad que cumpla con requerimientos técnicos específicos.

Se obtuvo como resultado el diseño de un secador rotativo el cual utiliza un quemador de GLP Modelo A55, capacidad 50.000 Kcal/h y cuatro paneles solares que precalientan el aire antes de ingresar al quemador, con esto se redujo el consumo de combustible en un 11% produciendo un ahorro en el proceso de secado. El aporte

de esta investigación será el diseño mecánico del horno secador rotativo como apoyo a esta investigación.

En este mismo orden de ideas, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil, Ecuador, realizada por Jimbo, Cesar, y Arboleda, Freddy (2016), titulado **“Diseño mecánico y construcción de un secador de cacao (*Theobroma cacao* L.) al vacío para medianos y grandes productores en la Provincia de Manabí”** para optar al título de Ingeniero Mecánico, la presente investigación tuvo como finalidad realizar un análisis del diseño de un secador de cacao al vacío; que comprendía dos áreas de la Ingeniería Mecánica, tales como: transferencia de calor y diseño mecánico. La finalidad principal de la investigación fue alcanzar las propiedades requeridas por las normativas nacionales e internacionales en el menor tiempo posible, para la comercialización del cacao en el mercado extranjero. La investigación fue enfocada hacia la optimización de la capacidad del secado por parte de los productores asegurando con ello una mejor competitividad en el mercado por la venta de un producto de calidad. Se contemplaron tres factores muy importantes de diseño; humedad relativa, temperatura de secado y tiempo de secado. Luego de pasar por todo el proceso de diseño, se procedió a seleccionar los diferentes equipos que conformaron el secador de vacío tales como: bomba de vacío, motor-reductor, fuente de calor, entre otros; además se consideraron los costos de diseño y de construcción. La investigación será utilizada para diseñar y construir un horno secador de cacao aplicando los fundamentos térmicos presentes, de manera de conseguir una textura similar y adecuada del producto.

Por último, Sánchez, A., Elsa, N. (2017) presentó en la Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto, Perú un trabajo titulado **“Efecto de tipos de secado del cacao (*Theobroma cacao* L) CCN-51 en la preservación de polifelones totales y antocianinas”** para optar al título de Ingeniero Mecánico, la presente investigación se realizó con el objetivo de cuantificar el contenido de polifelones totales y antocianinas en los tres tipos de secad. Para el análisis de las muestras se preparó un extracto hidroalcohólico que consistió en pesar 3.0 g de cacao en 25mL (agua/etanol

50:50v/v), macerado por 24 h, y la extracción fue asistida por ultrasonido. Para esto se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial (3x3), y la prueba

2.2.2 Cacaos Criollos

El cacao Criollo es también conocido como cacao Fino ya que sus características lo convierten en un grano de alta calidad y Venezuela es uno de los países que cuenta con la mayor variedad de esta especie en el mundo, además de ser el país al que se atribuye su aparición por primera vez, específicamente en la cuenca del Sur del Lago de Maracaibo, específicamente en el estado Zulia. Dentro de esta clasificación del cacao se encuentran los cacaos Criollos andinos, los Porcelana y los Pentágonas, que a pesar de pertenecer a la misma familia (Criollos) poseen características que los hacen diferenciarse entre sí.(ver figura 1)



Figura 1: Cacao criollo

Fuente: <https://images.app.goo.gl/Na9HDg3iyoCMNsw9>

2.2.3 Criollos Andinos

Sus mazorcas son de color rojo o verde antes de llegar a la etapa de madurez, tienen una forma alargada con una punta inferior bien marcada; en la superficie cuenta con diez surcos profundos. Además posee las siguientes características:

La mazorca es ancha en la base.

El pericarpio es rugoso y de fácil incisión, el mesocarpio es delgado y lignificado.

El grano interno es grueso, redondeado y sus cotiledones son de color blanco.

2.2.4 Criollos Porcelana

Las características de este fruto son parecidas a las del cacao Criollo Andino:

Los árboles son bajos de ramas finas y cortas.

Las flores son pequeñas y de color rosa.

Su forma es corta y cilíndrica, pero se estrecha para formar una punta perfecta a la cual se llega a través de cinco surcos pero que no marcan el resto de la mazorca. Puede que los surcos si se vean pero están ligeramente marcados.

Su color puede variar, desde blanco hasta rojo, se pueden presentar en varias gamas de color.

Las almendras poseen una coloración rosada que permite identificar el tipo de fruto.

2.2.5 Criollos Pentágonas

Las mazorcas de este tipo son bastante peculiares ya que presentan cinco aristas muy marcadas, un pericarpio rugoso y no poseen surcos como tal.

Este cacao proviene del piedemonte andino venezolano.

Sus flores y hojas son escasas para un árbol de 4 metros de altura.

Sus frutos son de colores intensos que varían entre rojo y verde.

2.2.6 Cacaos Trinitarios o Deltanos

La mayor parte de las plantaciones asentadas en Aragua, Miranda y Sucre poseen este tipo de cacao, por lo que el trinitario es el que cubre el 90% de la producción de cacao en el país. Reyes y Capriles (2010) señalan que “el cruce entre Criollo y Forastero ha originado un cacao de altísima calidad, con aroma y sabor muy acentuados que al convertirse en chocolate se transforma en algo estupendo, de aroma y sabor incomparable”. (p.6)

Algunos de los productores de cacao Trinitario que resaltan en Venezuela son:

Choroní

Ocumare – Edo. Aragua

Miranda y su Carenero Superior

Río Caribe

Carúpano

El Pilar

Yaguaraparo – Edo. Sucre

2.2.7 Cacaos Forasteros Amazónicos

Son parte del gran porcentaje de cacao corriente sembrado en África occidental, Malasia e Indonesia, estamos hablando de casi un 80% a nivel mundial. A pesar de ser llamado de esa forma, este es un cacao de alta resistencia a enfermedades y virus por lo que es muy codiciado para mejorar genéticamente otros tipos de cacao.

Enrique Llano, publicó desde el Ministerio de la Economía Nacional un libro llamado Cultivo del cacao, en el cual categorizó el cacao Forastero en cuatro tipos, dependiendo de su forma y aroma pueden ser Angoleta, Cundeamor, Amelonado y Calabacillo. (ver figura 2)



Figura 2: Tipos de cacao

Fuente: <https://images.app.goo.gl/C3GNd61H4ZqJ1zcQ7>

Angoleta:

En su corteza rugosa lucen surcos profundos.

Su diámetro tiende a ser mayor que su longitud.

Su cáscara es gruesa.

Sus granos son grandes y sus almendras poseen un color violeta lavado.

Cundeamor:

Su diámetro puede llegar a ser, máximo, del 50% de la longitud de la mazorca.

Sus lomos son superficiales pero en algunos casos son más profundos.

Amelonado:

Sus surcos son poco pronunciados, la textura de la concha es casi lisa.

Su diámetro puede variar entre un 60% y 75% de la longitud del fruto.

Posee una forma de melón, parecida a un globo, de ahí el nombre.

Este es uno de los tipos de cacao más buscados dentro del grupo de los Forasteros.

Las semillas son planas y de color vino, aunque existen algunas excepciones donde la semilla es de color blanco.

Calabacillo:

El árbol es pequeño pero tupido de follaje.

El fruto es de tamaño pequeño en comparación con otros tipos de los que ya hemos hablado.

Posee 5 surcos bien marcados.

Su punta puede variar ya que en algunos casos es puntiagudo y en otros casos son romo.

Su semilla posee una particularidad y es que aparte de ser aplastadas tienen forma triangular.

Su color varía entre violeto oscuro y púrpura.

Las semillas de este fruto son amargas y de lenta fermentación.

Después de dar un recorrido por los tipos de cacao que se producen en Venezuela se puede conocer un poco más acerca del trabajo que hacen los productores que se encuentran detrás de este fruto, cada tipo de cacao requiere de un cuidado diferente y eso lo han ido aprendiendo los cacaoteros con el pasar de los

años. Ahora llegó el momento de que el cacao sea el protagonista de la historia y solo conociendo sus tipos podremos saber cuál es el protagonista en de cada barra de chocolate que probamos.

2.2.8 Proceso de secado del cacao

Después de que los granos han sido fermentados tienen un contenido de humedad que va desde el 40% al 50% que debe reducirse al 6% o 7%, para un almacenamiento seguro. Un contenido más alto de humedad dará como resultado el crecimiento de moho durante el almacenamiento. El proceso de secado es quizás la etapa más importante de la producción del cacao; en ella está involucrada tanto la conservación del producto, así como el sabor y contextura del mismo. Según Enríquez (1993), el objetivo principal del proceso de secado es que “el cacao termine de desarrollar el sabor a chocolate que inició durante la fermentación y las almendras adquieran el color marrón o pardo típico del cacao correctamente fermentado y secado” (p.18).

Existen diversos métodos de secado de cacao, muchos de los cuales vienen empleándose desde los principios de la producción del mismo, debido a su bajo costo de implementación, considerando los materiales así como la mano de obra; además los productores se han visto en la necesidad de innovar las técnicas de secado, pues se han encontrado con diversos obstáculos con el pasar de los años. Entre los procesos de secado tenemos los siguientes:

Secado natural de cacao

En este método se contempla el efecto del aire sobre el grano del cacao; este viene a ser el método más convencional, ya que el mismo depende de las condiciones climáticas del sector o región. El movimiento del aire de secado se debe a la acción del viento, y la energía pedida para evaporar la humedad de la almendra depende de la capacidad de secado (absorción de humedad) del aire y de la incidencia directa de la energía solar.

Según Enríquez (2004) describe el proceso de secado natural como:

Con esta técnica de secado las almendras completan satisfactoriamente los cambios bioquímicos internos, logrando buenas características organolépticas; este tipo de secado se lo puede realizar utilizando tendales, los mismos que pueden ser contruidos de varias formas, utilizando madera, bambú, cemento u otros materiales refractarios. (p.4)

En el secado natural se realizan volteos del grano con poca frecuencia durante los primeros días y con mayor frecuencia durante los últimos días de secado. Según las horas de sol y la intensidad de los rayos solares, el proceso puede durar entre 3 y 12 o hasta 15 días. Realmente no existe un consenso en la bibliografía revisada sobre el tiempo que dura el secado de cacao, esto se debe a que, al tratarse de un proceso empírico y además fuertemente dependiente de las condiciones climáticas ambientales, el tiempo de exposición del grano no está determinado de forma precisa.

Secado artificial de cacao

En este tipo de método existen básicamente dos tipos de aplicaciones; una aplicación usa temperaturas altas, y la otra aplicación usa temperaturas bajas. Este proceso nos da la facilidad de hacer uso de diversas tecnologías, así como disímiles fuentes de energía; el proceso como tal, brinda ventajas y desventajas, pero no es tan dependiente como el proceso natural.

McCabe (2007) explica el proceso de secado como:

El nivel de humedad contenido varía de un producto a otro, la sal de mesa por ejemplo tiene un 0.5% de humedad, el cacao fermentado tiene un 55% de humedad, el maíz un 20%. El secado es un término relativo, se refiere realmente a un proceso de disminución de líquido contenido en un sólido. De igual manera los productos a secar tienen formas diferentes, escamas, gránulos, cristales, polvo, etc., además poseen propiedades físico-químicas diferentes. El líquido contenido puede estar concentrado en la superficie del sólido, en su parte interna o en ambas partes. La temperatura que puede soportar un sólido en el proceso de secado varía de un producto a otro y los cambios de temperatura también dependen de la cinética de secado de cada sólido. Estas razones argumentan el hecho que en el mercado industrial existan una gran variedad de tipos de secadores y sus diferencias radican esencialmente en la forma en que se mueven los sólidos a través de la zona de secado y en la forma en que se realiza la transferencia de calor. (p.23)

Dentro de la teoría de operaciones unitarias, los procesos de secado son clasificados como directos o adiabáticos e indirectos o no adiabáticos; los secadores adiabáticos son aquellos que exponen el sólido a un gas caliente, generalmente aire. Dentro de este tipo de secadores se pueden identificar; los secadores con circulación superficial, en donde el gas circula sobre el lecho o la superficie del sólido a secar; los secadores con circulación a través, utilizado para el secado de sólidos granulares gruesos, colocados sobre una rejilla; los secadores descendentes, cuyo funcionamiento consiste en formar una lluvia de sólidos a través de un flujo de gases calientes, esto da lugar al arrastre no deseado de partículas finas y los secadores de lecho fluidizado, en donde el gas caliente pasa a través de los sólidos con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho. Secadores de mezcla y separación, arrastrando los sólidos con un flujo de gas a altas velocidades y transportándolos neumáticamente desde un dispositivo de mezcla hacia un separador mecánico. En la Figura 3 se puede apreciar los distintos tipos de secadores adiabáticos. En a) se aprecia el secado por circulación tangencial de aire caliente; en b) se observa un sistema de secado con circulación transversal de aire caliente; en c) se muestra un secador rotatorio con circulación transversal; en d) secador de material agitado y en e) se observa un secador tipo spray.

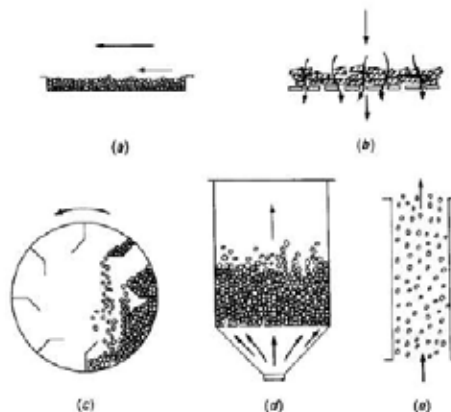


Figura 3: Secadores adiabáticos
Fuente: Manual de Operaciones Unitarias de Perry.

En los secadores no adiabáticos la transferencia de calor se puede realizar de las siguientes maneras: Esparciendo los sólidos sobre una superficie horizontal que es calentada eléctricamente o utilizando vapor de agua o agua caliente. Puede utilizarse opcionalmente una fuente de calor radiante situada en la parte superior del sólido. Removiendo los sólidos sobre una superficie caliente de forma cilíndrica, utilizando para el efecto, agitadores o transportadores de tipo pala o tornillo. Deslizándose el sólido por efecto de gravedad sobre una superficie caliente e inclinada.

Secado por circulación tangencial de aire caliente

Es un dispositivo donde el aire caliente fluye tangencialmente a la posición del sólido, realizando el secado del producto que se encuentra dentro del mismo.

Secado con circulación transversal de aire caliente

Es un dispositivo donde el sólido el cual se desea secar puede arreglarse en lechos delgados sostenidos por mallas, de forma que el aire caliente pueda pasarse a través de los lechos produciendo el secado del sólido.

Secador rotatorio con circulación transversal

En este dispositivos el flujo de aire puede ser tanto en paralelo como a contra corriente, el producto húmedo está en continuo movimiento gracias a la rotación del secador, con una ligera inclinación, para permitir el desliz de los sólidos; dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo del tambor del secador.

Secador de material agitado

Es un secador por lotes, está formado por un gabinete de hierro con puertas herméticas de modo que se trabaje al vacío, los anaqueles están vacíos donde se colocan las bandejas con los materiales húmedos.

Secador tipo spray

En este dispositivo se suministra el líquido a la planta de secado para ser atomizado, luego el líquido se convierte en un rocío de spray, las gotas de rocío son puestas en contacto con una corriente de aire caliente al interior de la cámara de secado, luego el aire evapora la humedad de las gotas de rocío y forma partículas

secas, esta parte del proceso debe llevarse a cabo a una temperatura y con un flujo de aire controlados y por último se lleva a cabo la descarga del polvo resultante de la cámara de secado y se utiliza un ciclón para recuperarlo desde los gases de escape.

2.2.9 Estudio termodinámico para el secado de cacao

Termodinámica

La termodinámica se puede definir como la ciencia de la energía. Aunque todo el mundo tiene idea de lo que es la energía, es difícil definirla de forma precisa. La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios. El término termodinámica proviene de las palabras griegas therme (calor) y dynamis (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia.

Principio de conservación de la energía

La termodinámica se puede definir como la ciencia de la energía. Aunque todo el mundo tiene idea de lo que es la energía, es difícil definirla de forma precisa. La energía se puede considerar como la capacidad para causar cambios. El término termodinámica proviene de las palabras griegas therme (calor) y dynamis (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia. El cambio en el contenido energético de un cuerpo o de cualquier otro sistema es igual a la diferencia entre la entrada y la salida de energía, y el balance de ésta se expresa como:

(Ec.1)

Sistemas cerrados y abiertos

Un sistema se define como una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para análisis. Los sistemas se pueden considerar cerrados o abiertos,

dependiendo de si se elige para estudio una masa fija o un volumen fijo en el espacio. Un sistema cerrado (conocido también como una masa de control) consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado; como se ilustra en la figura 4. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo. Si, como caso especial, incluso se impide que la energía cruce la frontera, entonces se trata de un sistema aislado.

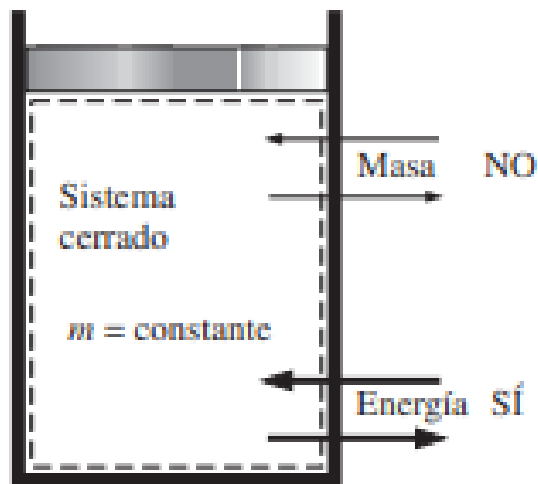


Figura 4: Sistema cerrado

Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Un sistema abierto, o un volumen de control, como suele llamarse, es una región elegida apropiadamente en el espacio. Generalmente encierra un dispositivo que tiene que ver con flujo másico, como un compresor, turbina o tobera. El flujo por estos dispositivos se estudia mejor si se selecciona la región dentro del dispositivo como el volumen de control. Tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control. Un gran número de problemas de ingeniería tiene que ver con flujo de masa dentro y fuera de un sistema y, por lo tanto, se modelan como volúmenes de control. Un calentador de agua, un radiador de automóvil, una turbina y un compresor se relacionan con el flujo de masa y se deben analizar como volúmenes

de control (sistemas abiertos) en lugar de como masas de control (sistemas cerrados). En general, cualquier región arbitraria en el espacio se puede seleccionar como volumen de control; no hay reglas concretas para esta selección, pero una que sea apropiada hace más fácil el análisis. Por ejemplo, si se necesitara analizar el flujo de aire por una tobera, una buena elección para el volumen de control sería la región dentro de la tobera.

Propiedades de un sistema

Cualquier característica de un sistema se llama propiedad. Algunas propiedades muy familiares son presión P, temperatura T, volumen V y masa m. La lista se puede ampliar para incluir propiedades menos familiares como viscosidad, conductividad térmica, módulo de elasticidad, coeficiente de expansión térmica, resistividad eléctrica e incluso velocidad y elevación. Se considera que las propiedades son intensivas o extensivas. Las propiedades intensivas son aquellas independientes de la masa de un sistema, como temperatura, presión y densidad. Las propiedades extensivas son aquellas cuyos valores dependen del tamaño o extensión del sistema. La masa total, volumen total y cantidad de movimiento total son algunos ejemplos de propiedades extensivas. Las propiedades extensivas por unidad de masa se llaman propiedades específicas

Densidad y densidad relativa

La densidad se define como la masa por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec.2})$$

Algunas veces la densidad de una sustancia se da como relativa a la densidad de una sustancia bien conocida. Entonces, se llama gravedad específica, o densidad relativa, y se define como el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad de alguna sustancia estándar a una temperatura especificada (normalmente agua a 4 °C, para la que $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$). Es decir:

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (\text{Ec.3})$$

El recíproco de la densidad es el volumen específico v , que se define como el volumen por unidad de masa. Es decir:

$$v = \frac{V}{m} \quad (\text{Ec.4})$$

El peso de un volumen unitario de una sustancia se llama peso específico y se expresa como:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (\text{Ec.5})$$

Proceso de flujo estacionario

En ingeniería, un gran número de dispositivos operan por largos periodos bajo las mismas condiciones y se clasifican como dispositivos de flujo estacionario. Los procesos en los que se utilizan tales dispositivos se pueden representar razonablemente bien mediante un proceso un poco idealizado, llamado proceso de flujo estacionario, que es posible definir como un proceso durante el cual un fluido fluye de forma estacionaria por un volumen de control. Es decir, las propiedades del fluido pueden cambiar de un punto a otro dentro del volumen de control, pero en algún punto fijo permanecen sin cambio durante todo el proceso. Por lo tanto, el volumen V , la masa m y el contenido total de energía E del volumen de control permanecen constantes durante un proceso de flujo estacionario.

Ley cero de la termodinámica

La ley cero de la termodinámica establece que si dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico con un tercero, están en equilibrio térmico entre sí. Podría parecer tonto que un hecho tan obvio se conozca como una de las leyes básicas de la termodinámica; sin embargo, no es posible concluir esta ley de las otras leyes de la termodinámica, además de que sirve como base para la validez de la medición de la temperatura. Si el tercer cuerpo se sustituye por un termómetro, la ley cero se puede volver a expresar como dos cuerpos están en equilibrio térmico si ambos tienen la misma lectura de temperatura incluso si no están en contacto. R. H. Fowler fue el primero que formuló y nombró la ley cero en 1931. Como indica el nombre, su valor como principio físico fundamental se reconoció más de medio siglo después de la

formulación de la primera y segunda leyes de la termodinámica y se llamó ley cero puesto que debía preceder a éstas.

Presión

La presión se define como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de gas o líquido, mientras que la contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. La presión real en una determinada posición se llama presión absoluta, y se mide respecto al vacío absoluto (es decir, presión cero absoluta). Sin embargo, la mayor parte de los dispositivos para medir la presión se calibran a cero en la atmósfera; por lo que indican la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica local; esta diferencia es la presión manométrica. Las presiones por debajo de la atmosférica se conocen como presiones de vacío y se miden mediante medidores de vacío que indican la diferencia entre las presiones atmosférica y absoluta. Las presiones absoluta, manométrica y de vacío son todas positivas y se relacionan entre sí mediante:

(Ec.6)

(Ec.7)

Primera ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica, conocida también como el principio de conservación de la energía, brinda una base sólida para estudiar las relaciones entre las diversas formas de interacción de energía. A partir de observaciones experimentales, la primera ley de la termodinámica establece que la energía no se puede crear ni destruir durante un proceso; sólo puede cambiar de forma. Por lo tanto, cada cantidad de energía por pequeña que sea debe justificarse durante un proceso.

Mecanismo para la transferencia de energía

La energía se puede transferir hacia o desde un sistema en tres formas: calor, trabajo y flujo másico. Las interacciones de energía se reconocen en las fronteras del sistema cuando lo cruzan, y representan la energía que gana o pierde un sistema

durante un proceso. Las únicas dos formas de interacción de la energía relacionadas con una masa fija o sistema cerrado son las transferencias de calor y de trabajo.

1. Transferencia de calor, Q La transferencia de calor hacia un sistema (ganancia de calor) incrementa la energía de las moléculas y por lo tanto la del sistema; asimismo, la transferencia de calor desde un sistema (pérdida de calor) la disminuye, ya que la energía transferida como calor viene de la energía de las moléculas del sistema.

2. Transferencia de trabajo, W Una interacción de energía que no es causada por una diferencia de temperatura entre un sistema y el exterior es trabajo. Un émbolo ascendente, un eje rotatorio y un alambre eléctrico que cruzan la frontera del sistema se relacionan con interacciones de trabajo. La transferencia de trabajo a un sistema (es decir, el trabajo realizado sobre un sistema) incrementa la energía de éste, mientras que la transferencia de trabajo desde un sistema (es decir, el trabajo realizado por el sistema) la disminuye, puesto que la energía transferida como trabajo viene de la energía contenida en el sistema. Los motores de automóviles y las turbinas hidráulicas, de vapor o de gas, producen trabajo mientras que los compresores, las bombas y los mezcladores consumen trabajo.

3. Flujo másico, m El flujo másico que entra y sale del sistema funciona como un mecanismo adicional de transferencia de energía. Cuando entra masa a un sistema, la energía de éste aumenta debido a que la masa lleva consigo energía (de hecho, la masa es energía). De igual modo, cuando una cantidad de masa sale del sistema, la energía de éste disminuye porque la masa que sale saca algo de energía consigo. Por ejemplo, cuando cierta cantidad de agua caliente sale de un calentador y es reemplazada por agua fría en la misma cantidad, el contenido de energía del tanque de agua caliente (el volumen de control) disminuye como resultado de esta interacción de masa.

Como la energía puede ser transferida en las formas de calor, trabajo y masa, y su transferencia neta es igual a la diferencia entre las cantidades transferidas hacia dentro y hacia fuera, el balance de energía se expresa de modo más explícito como:

(Ec.8)

Eficiencia en la conversión de energía

Eficiencia es uno de los términos más usados en termodinámica, e indica qué tan bien se realiza un proceso de conversión o transferencia de energía. Asimismo, este término resulta uno de los que en general son mal usados en termodinámica, además de ser una fuente de malas interpretaciones. Esto se debe a que se usa sin una definición adecuada, lo cual se aclara a continuación y se definen algunas de las eficiencias más usadas en la práctica

Sustancias puras

Una sustancia que tiene una composición química fija en cualquier parte se llama sustancia pura, la cual existe en diferentes fases dependiendo de su nivel de energía.

Cambio de estado en las sustancias puras

Al estudiar dos fases o cambios de fase en termodinámica, no es necesario poner el interés en la estructura molecular y el comportamiento de las distintas fases, pero sí es muy útil comprender los fenómenos moleculares de cada fase. A continuación se explica de manera breve las transformaciones de fase. Los enlaces moleculares son más fuertes en los sólidos y más débiles en los gases, debido en parte a que las moléculas en los primeros están más próximas entre sí, mientras que en los gases se hallan separadas por distancias relativamente grandes.

Líquido comprimido y líquido saturado

Considere un dispositivo de cilindro-émbolo que contiene agua líquida a 20 °C y 1 atm de presión. En estas condiciones el agua existe en fase líquida y se denomina líquido comprimido o líquido subenfriado, lo cual significa que no está a punto de evaporarse. Se transfiere calor al agua hasta aumentar su temperatura a, por ejemplo, 40 °C. A medida que aumenta la temperatura, el agua líquida se expande un poco y por consiguiente aumenta su volumen específico. Entonces, debido a esta expansión el émbolo sube ligeramente. La presión en el cilindro permanece constante en 1 atm

durante este proceso porque depende de la presión barométrica externa y el peso del émbolo, que son constantes. El agua es aún un líquido comprimido en este estado puesto que no ha comenzado a evaporarse. Conforme se transfiere más calor, la temperatura aumenta hasta alcanzar $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto en que el agua todavía permanece líquida, pero cualquier adición de calor hace que se vaporice algo de agua; es decir, está a punto de tener lugar un proceso de cambio de fase de líquido a vapor. Un líquido que está a punto de evaporarse se llama líquido saturado; así, el estado 2 corresponde al de un líquido saturado (ver figura 5).

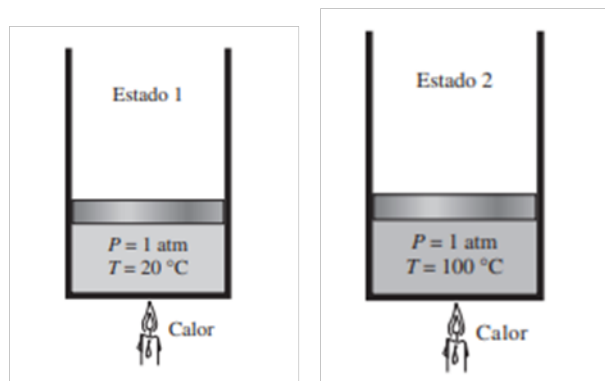


Figura 5: Proceso de cambio de fase en sustancias puras
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Vapor saturado y vapor sobrecalentado

Una vez que empieza la ebullición, el aumento de temperatura se detiene hasta que se evapora todo el líquido. Es decir, si la presión se mantiene constante, durante el proceso de cambio de fase la temperatura también lo hará. Es fácil comprobar lo anterior al colocar un termómetro en agua pura que hierve sobre una estufa. A nivel del mar ($P = 1\text{ atm}$), el termómetro siempre indicará $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ si la cacerola está tapada o no con una tapa ligera. Durante un proceso de ebullición, el único cambio observable es un gran aumento en el volumen y una disminución constante en el nivel del líquido como resultado de una mayor cantidad de éste convertido en vapor. Casi a la mitad de la línea de evaporación (ver figura 6), el cilindro contiene cantidades iguales de líquido y vapor. Conforme continúa la transferencia de calor, el proceso de

evaporación continuará hasta evaporarse la última gota de líquido (ver figura 7). En ese punto el cilindro está lleno de vapor, el cual se halla en el borde de la fase líquida. Cualquier cantidad de calor que pierda este vapor hará que se condense (cambio de fase de vapor a líquido).

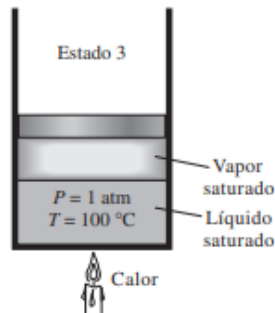


Figura 6: Proceso de cambio de fase durante la ebullición, estado 3
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

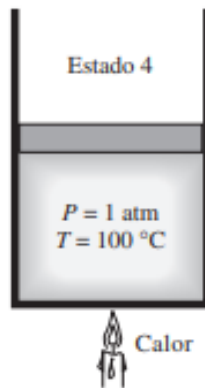


Figura 7: Proceso de cambio de fase, estado 4
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Un vapor que está a punto de condensarse se llama vapor saturado; por lo tanto, el estado 4 es un estado de vapor saturado, y una sustancia entre los estados 2 y 4 se conoce como vapor húmedo o una mezcla saturada de líquido-vapor, debido a que en estos estados las fases líquida y vapor coexisten en equilibrio. Una vez completado, el proceso de cambio de fase termina y se alcanza una región de una sola fase (esta vez

vapor). En este punto, transferir más calor da como resultado un aumento de temperatura y de volumen específico. En el estado 5 la temperatura del vapor es, por ejemplo, 300 °C; si se transfiere algo de calor del vapor, la temperatura descendería un poco pero no habría condensación siempre que la temperatura permanezca por encima de 100 °C (para P 1 atm). Un vapor que no está a punto de condensarse (es decir, no es vapor saturado) se denomina vapor sobrecalentado; por lo tanto, el agua en el estado 5 es un vapor sobrecalentado (ver figura 8).

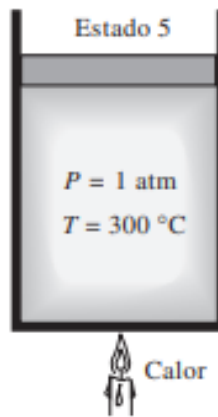


Figura 8: Proceso de cambio de fase a vapor sobrecalentado
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Temperatura de saturación y presión de saturación

A una determinada presión, la temperatura a la que una sustancia pura cambia de fase se llama temperatura de saturación, T_{sat} . Del mismo modo, a una temperatura determinada, la presión a la que una sustancia pura cambia de fase se llama presión de saturación. Para fundir un sólido o vaporizar un líquido se requiere una gran cantidad de energía. La cantidad de ésta que es absorbida o liberada durante el proceso de cambio de fase se llama calor latente. Específicamente, la cantidad de energía absorbida durante la fusión se llama calor latente de fusión y equivale a la cantidad de energía liberada durante la congelación. De modo similar, la cantidad de energía absorbida durante la evaporación se llama calor latente de evaporación y es

equivalente a la energía liberada durante la condensación. Las magnitudes de los calores latentes dependen de la temperatura o presión en la que sucede el cambio de fase: a 1 atm de presión, el calor latente de fusión del agua es de 333.7 kJ/kg, mientras que el de evaporación es de 2 256.5 kJ/kg.

Durante un proceso de cambio de fase, resulta obvio que la presión y la temperatura son propiedades dependientes y que hay una relación definida entre ellas, es decir:

(Ec.9)

Una gráfica de T_{sat} en función de P_{sat} , como la ilustrada para el agua en la figura 9, se llama curva de saturación de líquido-vapor. Una curva de esta clase es característica de todas las sustancias puras. Una gráfica de T_{sat} en función de P_{sat} , como la ilustrada para el agua en la figura 9, se llama curva de saturación de líquido-vapor. Una curva de esta clase es característica de todas las sustancias puras.

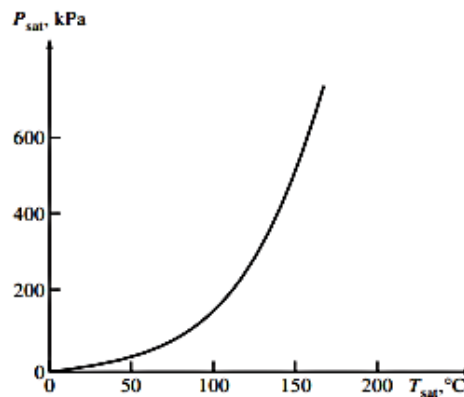


Figura 9: Curva de saturación líquido-vapor de una sustancia pura
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Punto crítico

Se define como el punto en el que los estados de líquido saturado y de vapor saturado son idénticos. La temperatura, la presión y el volumen específico de una

sustancia en el punto crítico se denominan, respectivamente, temperatura crítica T_{cr} , presión crítica P_{cr} y volumen específico crítico v_{cr} .

A presiones superiores a la presión crítica no hay un proceso distinto de cambio de fase, pero el volumen específico de la sustancia aumenta de forma continua y en todo momento sólo hay una fase presente. Al final se asemeja al vapor, pero no se podrá decir cuándo ocurrió el cambio. Por encima del estado crítico no hay una línea que separe las regiones de líquido comprimido y vapor sobrecalentado, pero es común llamar a la sustancia vapor sobrecalentado a temperaturas superiores a la crítica y líquido comprimido cuando está por debajo de ésta (ver figuras 10 y 11).

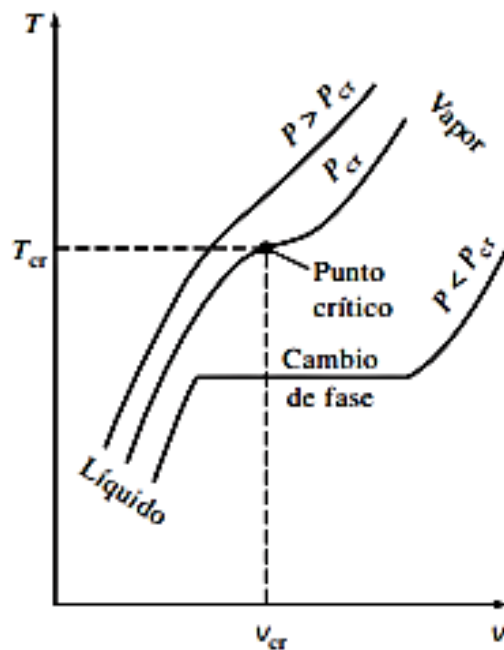


Figura 10: Diagrama T-v de una sustancia pura, para la definición del punto crítico

Fuente: Yunus, Cengel (2012)

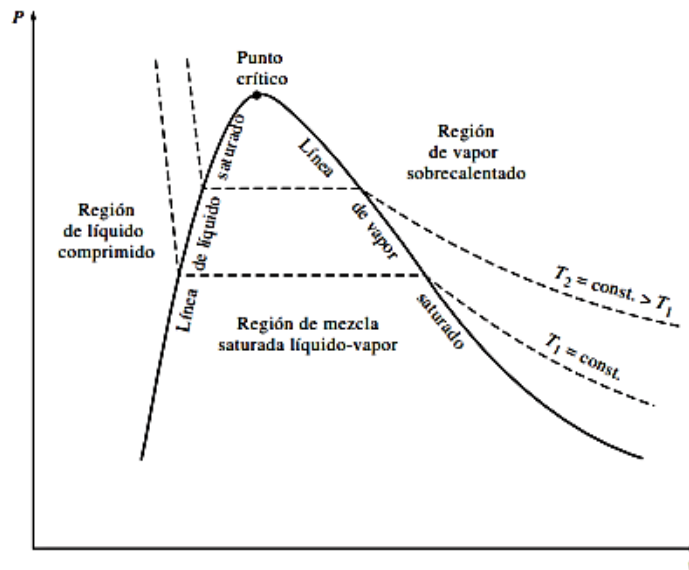


Figura 11: Diagrama P-V de una sustancia pura, representación del punto crítico.
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Punto triple

Dos fases que están en equilibrio son algo muy familiar, pero en algunas condiciones las tres fases de una sustancia pura también coexisten en equilibrio (Ver figura 12). En los diagramas P-v o T-v, estos estados de tres fases forman una línea llamada línea triple. Los estados que se hallan sobre la línea triple de una sustancia tienen la misma presión y temperatura, pero diferentes volúmenes específicos. Dicha línea aparece como un punto sobre los diagramas P-T; por lo tanto, se denomina punto triple. (Ver figura 13)

Trabajo

El trabajo es la energía transferida cuando una fuerza actúa sobre un sistema a lo largo de una distancia. La forma más común de trabajo mecánico es el trabajo de frontera, que es el trabajo relacionado con la expansión y compresión de sustancias. En un diagrama P-V, el área bajo la curva del proceso representa el trabajo de

frontera para un proceso de cuasiequilibrio. Varias formas de trabajo de frontera se expresan como:

1. General:

(Ec.10)

2. Proceso Isobárico

(Ec.11)

3. Proceso Politrópico

(Ec.12)

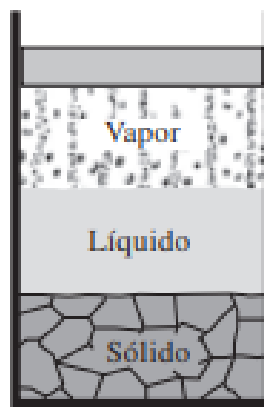


Figura 12: Sustancia pura a la presión y temperatura del punto triple.

Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Condiciones externas

En este proceso, las variables a considerar son temperatura, humedad, rapidez de cambio, dirección del flujo de aire, la forma física del sólido y el método de soporte del sólido durante la operación de secado. Estas condiciones externas son principalmente importantes en el estado inicial de la remoción de humedad. A continuación se presentan los parámetros considerados como condiciones externas:

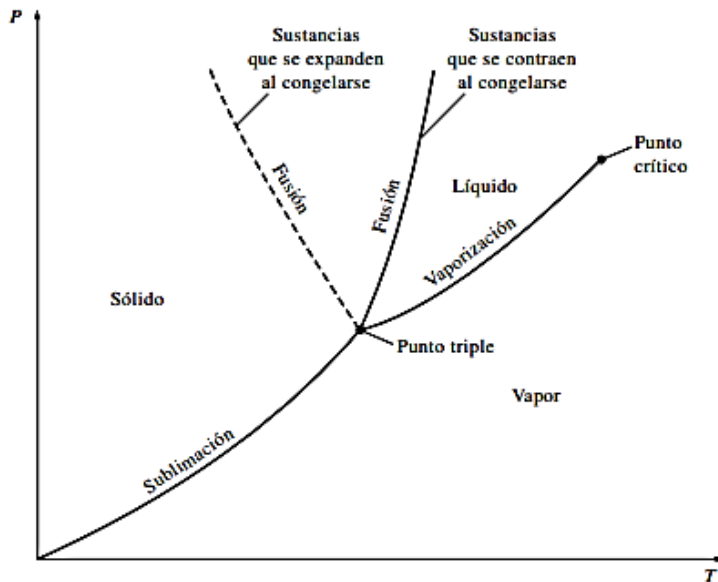


Figura 13: Diagrama P-T de sustancias puras
Fuente: Yunus, Cengel (2012)

Entalpía

La energía interna y el flujo de trabajo por unidad de masa se han agrupado convenientemente en un compuesto de energía llamado entalpía (Mujumdar, 2006). La entalpía se define mediante la expresión:

$$h = u + Pv \quad (Ec.13)$$

Capacidad calorífica:

La capacidad calorífica se define como el calor necesario para elevar la temperatura de una unidad de masa de sustancia por una temperatura de la unidad. Para un proceso de presión constante, la capacidad calorífica está dada por:

$$c_p = \left(\frac{dh}{dT} \right)_p \quad (Ec.14)$$

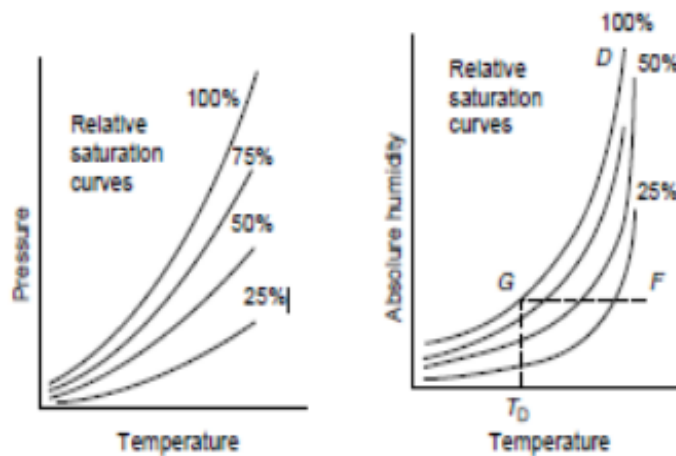


Figura 14: Dos formas de cartas psicométricas

Fuente: Arun S. Majumdar, 2006

Condiciones Internas

Como resultado de la transferencia de calor a un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla dentro de los sólidos, mientras que la evaporación de la humedad se desarrolla desde la superficie, esto produce una migración de humedad desde dentro del sólido a la superficie, que se produce a través de uno o más mecanismos tales como difusión, flujo capilar, presión interna entre otros. El gradiente de temperatura en el sólido también creará un gradiente de presión de vapor que a su vez dará lugar a la difusión de vapor de humedad a la superficie. A continuación se presentan las condiciones internas:

Contenido de humedad de los sólidos

La humedad contenida en solución sólida o líquida ejerce una presión de vapor hasta un punto según la naturaleza de la humedad, la naturaleza del sólido, y la temperatura. Un sólido húmedo expuesto a un suministro de gas fresco continúa perdiendo humedad al punto en el cual la presión de vapor de la humedad en el sólido es igual a la presión parcial del vapor en el gas. Los sólidos pueden ser clasificados como sigue:

No higroscópico, capilar-medio poroso

Higroscópico-medio poroso

Coloidal (no poroso)

Isotermas de humedad

Un producto seco se llama higroscópico si es capaz de enlazar agua con una reducción simultánea de presión de vapor. Las isotermas de sorción medidas experimentalmente bajo condiciones isotérmicas son usadas para describir las propiedades higroscópicas de un producto (ver figura 15).

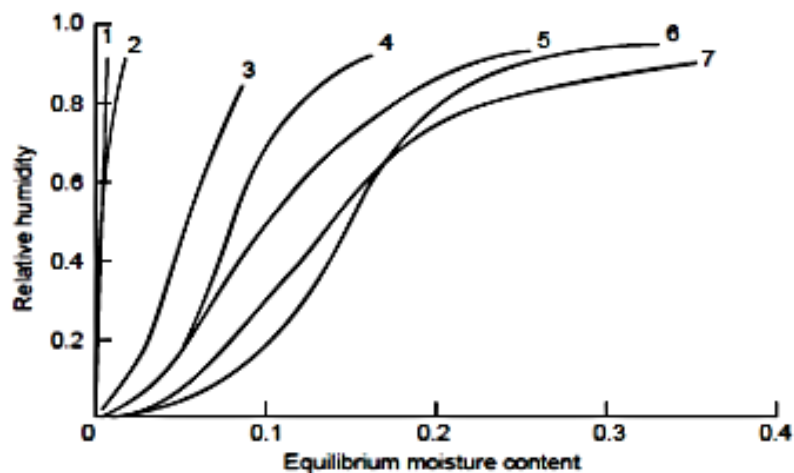


Figura 15: Típicas isotermas de humedad de equilibrio en la temperatura de las sustancias: fibra (1) asbesto, PVC (2) 508 C, carbón de madera (3), papel kraft (4), yute (5), trigo (6), papas (7)

Fuente: Arun S. Majumdar, 2006

La relación entre el porcentaje del líquido en el producto y el de su vapor a la presión de equilibrio, expresada por la humedad relativa del aire, se representa por las isotermas de sorción, a una temperatura dada (Se supone que la tasa de pérdida de humedad de un producto rodeado por el aire a una humedad relativa particular, y la temperatura es proporcional a la diferencia entre la humedad del producto y su humedad de equilibrio). Para hallar esta relación, se han propuesto diferentes modelos teóricos y empíricos para expresar el contenido de humedad de equilibrio en los

granos. Aunque ninguno es capaz de expresar exactamente el valor de la humedad de equilibrio en todas las gamas de temperatura se considera a la ecuación de Halsey la que mejor expresan dicho valor

2.2.10 Transferencia de masa y de energía

Todos los procesos de secado tienen como función esencial la eliminación de sustancias volátiles (humedad) a partir de una mezcla para producir un producto sólido. La Figura 16 proporciona una representación detallada del fenómeno de transferencia de calor y de masa entre el material a secarse y el entorno que lo rodea.

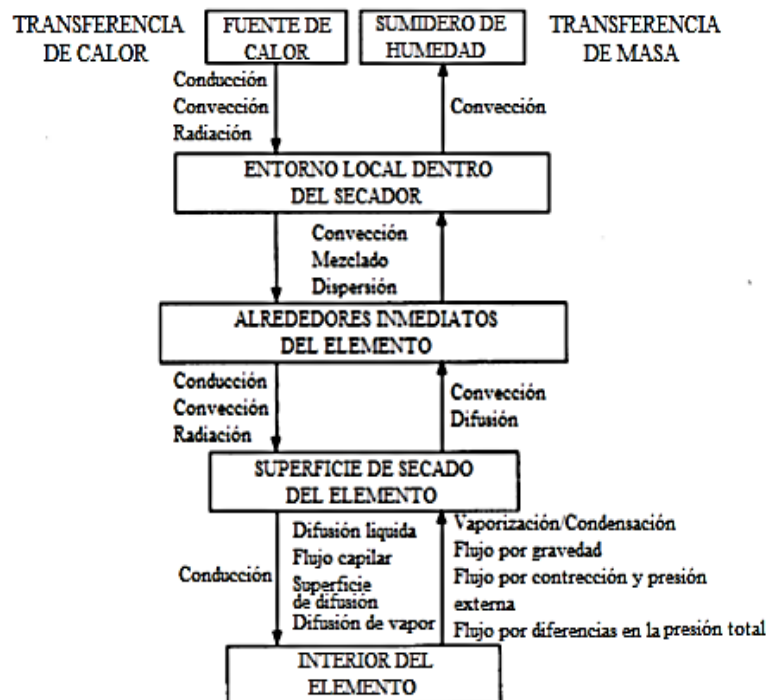


Figura 16: Descripción de los fenómenos de transferencia de calor y de masa.

Fuente: Bruin, S. and Luyben, [38]

En general, el proceso de secado implica la utilización de técnicas térmicas, consecuentemente la aplicación de calor, comúnmente por convección a partir de una corriente de aire. Durante el secado por convección de sólidos, se producen dos procesos simultáneamente, a saber: la transferencia de energía desde el ambiente

circundante; y la transferencia de humedad desde la parte interna del sólido. Por lo tanto, la operación de secado puede ser considerada como un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa. Por otra parte, la velocidad a la que se lleva a cabo el secado depende de magnitud relativa de los dos procesos.

2.2.11 Transferencia de Calor para el secado de cacao

Temperatura

Es una propiedad que depende del nivel de interacción molecular. Específicamente la temperatura es un reflejo del nivel de agitación molecular que presenta una sustancia en un estado determinado. Cuanto mayor sea la temperatura de una sustancia, mayor será el nivel de agitación molecular.

Transferencia de Calor

Energía en tránsito o movimiento debida a una diferencia de temperatura. (De mayor temperatura a menor temperatura) El requisito básico para que tenga lugar la transferencia de calor, es que exista una diferencia de temperatura, sin embargo la forma como ocurre o el mecanismo a través del cual tiene lugar la transferencia puede variar. Durante el secado se produce la transmisión de calor para evaporar el líquido y la transferencia de masas entre el cuerpo secado y el aire. La transferencia de calor se realiza entre dos puntos o regiones a distintas temperaturas, de tres maneras diferentes.

Tipos de transferencia de calor

Conducción

Es la transmisión de calor a través de un medio sólido, líquido o gaseoso, debido al movimiento de las moléculas. El flujo de calor por conducción está dado por la siguiente expresión:

$$\text{—} \quad \text{(Ec.19)}$$

Dónde:

A= área de la superficie de la transferencia de calor, en

—= Gradiente de temperatura en la dirección x , en —

k = Conductividad térmica del material, en —

Conducción a través de una pared plana

El calor fluye en dirección perpendicular a la superficie. Si la conductividad térmica es uniforme, la integración de la ecuación queda como (ver figura 17)

—

(Ec.20)

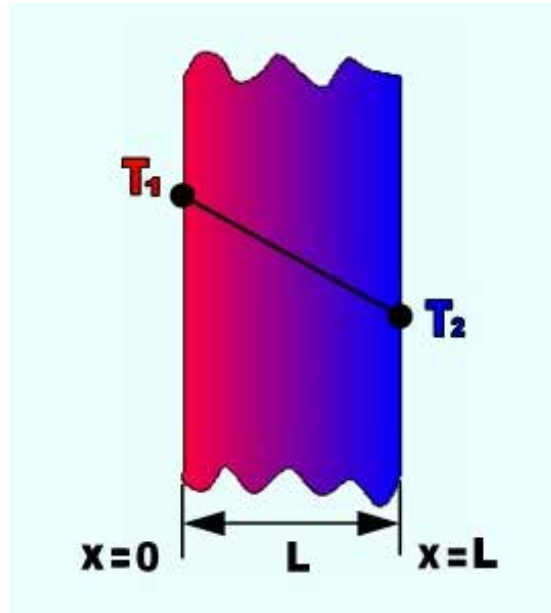


Figura 17: Sección transversal de una pared plana

Fuente: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

Conducción a través de paredes planas en serio

En estado estacionario el flujo de calor a través de todas las secciones debe ser el mismo. Sin embargo, los gradientes son distintos (ver figura 18)

—

—

—

(Ec.21)

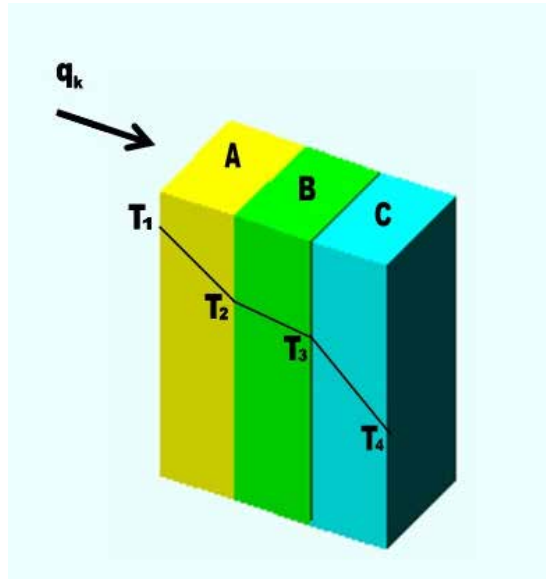


Figura 18: Conducción unidimensional a través de paredes planas en serie
 Fuente: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

Materiales dispuestos en paralelo

El análisis del circuito supone que el flujo es unidimensional (ver figura 19)

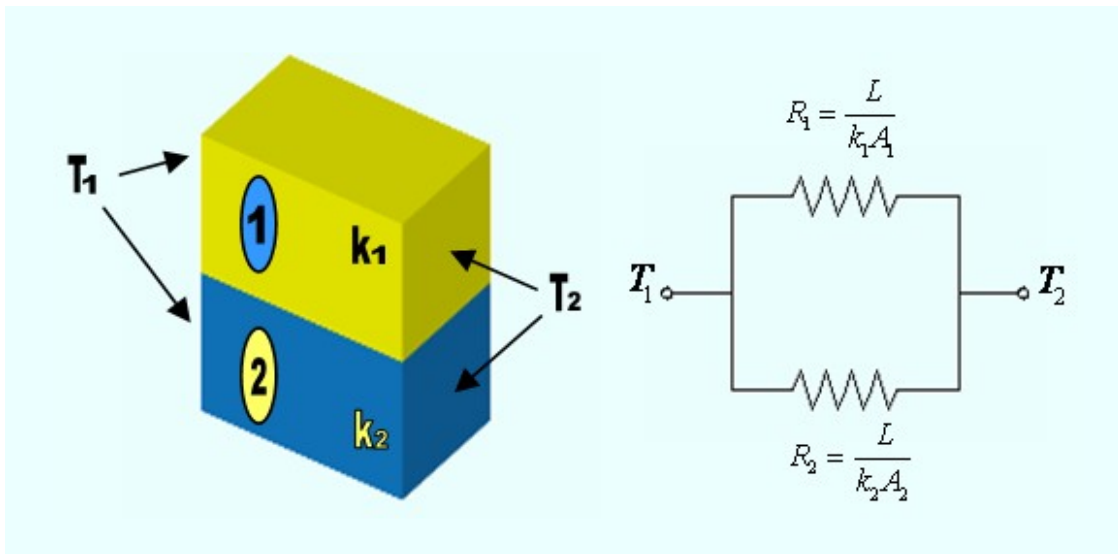


Figura 19: Analogía eléctrica para paredes en paralelo.
 Fuente: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm

Resistencia de contacto

Cuando superficies conductoras distintas se sitúan en contacto, aparece generalmente una resistencia térmica en la interface de los sólidos. Esta resistencia, llamada resistencia de contacto, se desarrolla cuando los dos materiales no se ajustan exactamente y por ello entre ambos queda atrapada una delgada capa de fluido. A través de los puntos de contacto del sólido, el calor se transmite por conducción mientras que a través del fluido de la interface el calor se transmite por convección y radiación.

Conductividad térmica

La conductividad térmica de un material varía con la temperatura. Los gases tienen conductividad térmica más baja que los líquidos. Los metales como el cobre y el aluminio tienen conductividad térmica alta.

Convección

Cuando un fluido se pone en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de energía térmica se denomina transferencia de calor por convección. Hay dos tipos de procesos de convección: convección libre o natural y convección forzada. En el primer caso la fuerza motriz procede de la diferencia de densidad en el fluido que resulta del contacto con una superficie a diferente temperatura y da lugar a fuerzas ascensionales. En el segundo caso una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie a una temperatura mayor o inferior que la del fluido. Para una u otra forma de transferencia de calor por convección, la cantidad de calor es

(Ec.23)

El coeficiente de transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico). La resistencia térmica en la transferencia de calor por convección viene dada por:

$$\text{—} \quad (Ec.24)$$

Convección natural

Ocurre debido a diferencias de densidad en el fluido provocadas por un cuerpo a una temperatura diferente que la del fluido que intercambia calor con él. Estas diferencias de densidad provocan una acción de bombeo del fluido con relación al cuerpo.

Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección natural

La evaluación del coeficiente de transferencia de calor h es bastante difícil puesto que por lo regular comprende fenómenos físicos muy complejos. Usando las técnicas del análisis dimensional puede demostrarse que los parámetros comprendidos en la transferencia de calor por convección natural pueden expresarse según:

$$(Ec.25)$$

Nu: Número de Nusselt

Pr: Número de Prandtl

Gr: Número de Grashof

Número de Nusselt

El número de Nusselt es un número adimensional, llamado así por un ingeniero alemán Wilhelm Nusselt. El número de Nusselt está estrechamente relacionado con el número de Péclet y ambos números se usan para describir la relación de la energía térmica que se convence al fluido con respecto a la energía térmica conducida dentro del fluido. El número de Nusselt es igual al gradiente de temperatura adimensional en la superficie, y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección

que ocurre en la superficie. El componente conductor se mide en las mismas condiciones que la convección de calor pero con un fluido estancado. El número de Nusselt es para la capa límite térmica lo que es el coeficiente de fricción para la capa límite de velocidad. Por lo tanto, el número de Nusselt se define como:

$$\text{—} \tag{Ec.26}$$

Dónde:

h: Coeficiente de transferencia de calor por convección

L: Longitud característica

hf: Conductividad térmica del fluido

Número de Grashof

El número de Grashof es un número adimensional, llamado así por Franz Grashof. El número de Grashof se define como la relación entre la fuerza de flotación y la fuerza viscosa que actúa sobre un fluido en la capa límite de velocidad. Su papel en la convección natural es muy similar al del número de Reynolds en convección forzada. La convección natural se usa si este movimiento y la mezcla son causados por variaciones de densidad resultantes de las diferencias de temperatura dentro del fluido. Por lo general, la densidad disminuye debido a un aumento de la temperatura y hace que el líquido suba. Este movimiento es causado por la fuerza de flotación. La fuerza principal que resiste el movimiento es la fuerza viscosa. El número de Grashof es una forma de cuantificar las fuerzas opuestas.

$$\text{—————} \tag{Ec.27}$$

Dónde:

g: gravedad

L: Longitud vertical

v: viscosidad cinemática

Número de Prandtl

El número de Prandtl es un número adimensional, llamado así por su inventor, el ingeniero alemán Ludwig Prandtl, quien también identificó la capa límite. El número de Prandtl se define como la relación de difusividad impulso a la difusividad térmica. La difusividad de momento, o como se le llama normalmente, viscosidad cinemática, nos dice la resistencia del material a los flujos de corte (diferentes capas del flujo viajan con diferentes velocidades debido, por ejemplo, a diferentes velocidades de paredes adyacentes) en relación con la densidad. Es decir, el número de Prandtl se da como:

$$\text{---} \quad \text{(Ec.28)}$$

Dónde:

: Viscosidad dinámica

Cp: Calor específico

k: Conductividad térmica

Convección Forzada

Tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad u_F sobre una superficie que se encuentra a una temperatura T_{pF} , mayor o menor que la del fluido T_F . Como la velocidad del fluido en la convección forzada u_F es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

El flujo de convección forzada puede ser laminar o turbulento, interior o exterior a la tubería e involucrar cambios de fase tales como cuando un fluido está calentándose.

Flujo Laminar

Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria

suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular.

Flujo turbulento

Se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente. Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica.

Clasificación del flujo como laminar o turbulento

Cuando entre dos partículas en movimiento existe gradiente de velocidad, o sea que una se mueve más rápido que la otra, se desarrollan fuerzas de fricción que actúan tangencialmente a las mismas. Las fuerzas de fricción tratan de introducir rotación entre las partículas en movimiento, pero simultáneamente la viscosidad trata de impedir la rotación. Dependiendo del valor relativo de estas fuerzas se pueden producir diferentes estados de flujo. Cuando el gradiente de velocidad es bajo, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan, pero no rotan, o lo hacen, pero con muy poca energía, el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Este tipo de flujo fue identificado por Reynolds y se denomina "laminar", queriendo significar con ello que las partículas se desplazan en forma de capas o láminas. Al aumentar el gradiente de velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido, y estas adquieren una energía de rotación apreciable, la viscosidad pierde su efecto, y debido a la rotación las partículas cambian de trayectoria. Al pasar de unas trayectorias a otras, las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática. Éste tipo de flujo se denomina "turbulento". El flujo "turbulento" se caracteriza porque:

Las partículas del fluido no se mueven siguiendo trayectorias definidas.

La acción de la viscosidad es despreciable.

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

Al entrar las partículas de fluido a capas de diferente velocidad, su momento lineal aumenta o disminuye, y el de las partículas vecina la hacen en forma contraria.

Cuando las fuerzas de inercia del fluido en movimiento son muy bajas, la viscosidad es la fuerza dominante y el flujo es laminar. Cuando predominan las fuerzas de inercia el flujo es turbulento. Osborne Reynolds estableció una relación que permite establecer el tipo de flujo que posee un determinado problema. Para números de Reynolds bajos el flujo es laminar, y para valores altos el flujo es turbulento.

Número de Reynolds

Existe un parámetro que es función de la viscosidad del líquido y cuyo valor permite discernir sobre si el flujo es laminar o turbulento, se llama número de Reynolds.

$$\text{---} \quad \text{(Ec.30)}$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds

V: velocidad media de escurrimiento

: Viscosidad cinemática

L: Longitud característica que en tuberías es generalmente el diámetro.

Experimentalmente se ha encontrado que en tubos de sección circular cuando el número de Reynolds pasa de 2300 se inicia la turbulencia en la zona central del tubo, sin embargo, este límite es muy variable y depende de las condiciones de quietud del conjunto. Para números de Reynolds mayores de 4000 el flujo es turbulento. Al descender la velocidad se encuentra que para números de Reynolds menores de 2100 el flujo es siempre laminar, y cualquier turbulencia es que se produzca es eliminada por la acción de la viscosidad.

El paso de flujo laminar a turbulento es un fenómeno gradual, inicialmente se produce turbulencia en la zona central del tubo donde la velocidad es mayor, pero queda una corona de flujo laminar entre las paredes del tubo y el núcleo central turbulento. Al aumentar la velocidad media, el espesor de la corona laminar disminuye gradualmente hasta desaparecer totalmente. Esta última condición se consigue a altas velocidades cuando se obtiene turbulencia total en el flujo. Para flujo entre placas paralelas, si se toma como dimensión característica el espaciamiento de éstas, el número de Reynolds máximo que garantiza flujo laminar es 1000. Para canales rectangulares anchos con dimensión característica la profundidad, este límite es de 500; y para esferas con el diámetro como dimensión característica el límite es la unidad. En la práctica, para las velocidades ordinales, el flujo del agua es turbulento en tuberías y canales y laminar en el sub suelo. Existe un parámetro que es función de la viscosidad del líquido y cuyo valor permite discernir sobre si el flujo es laminar o turbulento, se llama número de Reynolds.

Radiación

En la radiación la energía se transporta en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética que se considera aquí es la radiación térmica. La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. (Ver figura 20)

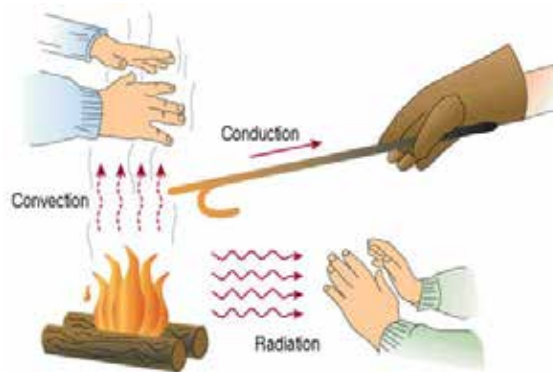


Figura 20: Tipos de transferencia de calor
Fuente: nergiza.com

Curva de secado

Según Fito, P. En su obra “Introducción al secado de alimentos por aire caliente” argumenta que: en un experimento de secado, manteniendo constantes todas las variables del proceso de secado y obteniendo periódicamente el valor de humedad del sólido, entonces puede graficarse la curva de la humedad X_w en función del tiempo, obteniéndose la curva se secado, la misma que representa el comportamiento de la humedad en un fenómeno de secado de alimentos de forma general. En la Figura 10 se muestra la curva típica de secado. X_w , representa la humedad; t el tiempo; X_{wo} , la humedad inicial del sólido; X_{wc} , el valor de humedad crítica y X_{we} , la humedad de equilibrio. (p.25) (ver figura 21)

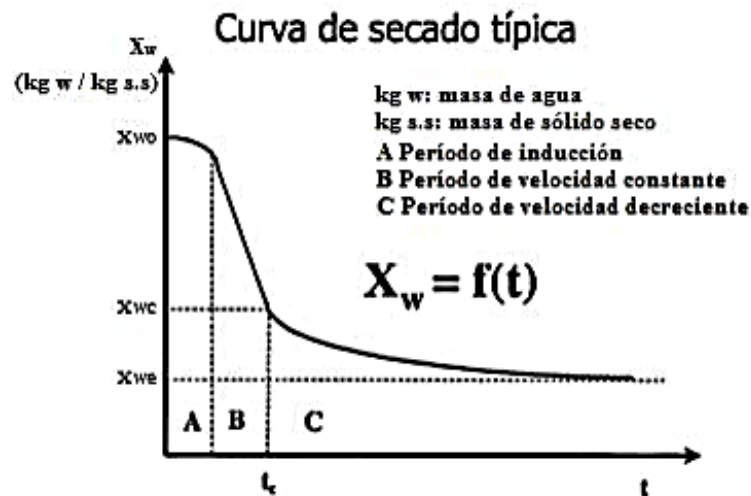


Figura 21: Curva típica de secado

Fuente: Pedro Fito, (p.25)

Velocidad de secado

En la ecuación 9 se establece la variación de humedad con respecto al tiempo, es decir la velocidad de secado. La rapidez con la que disminuye el contenido de humedad de los sólidos se conoce como velocidad de secado. (P.F. Maupoey et al. 2001) (p.25). En la Figura 22, se observa el comportamiento de la velocidad de secado.

La pendiente de la curva ()/ representa el valor de la velocidad de secado. La velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso. La eliminación de humedad se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es diferente. A es el punto de partida del proceso. Durante el tramo AB, el sólido y el agua contenida se van calentando lentamente, en el tramo BC se produce una gran disminución del contenido de agua, manteniéndose constante la velocidad de secado. Al alcanzar el valor de humedad crítica, punto C, se produce un cambio brusco, el proceso de extracción de humedad se vuelve lento, decreciendo la velocidad de secado en la fase CD.

(Ec.31)

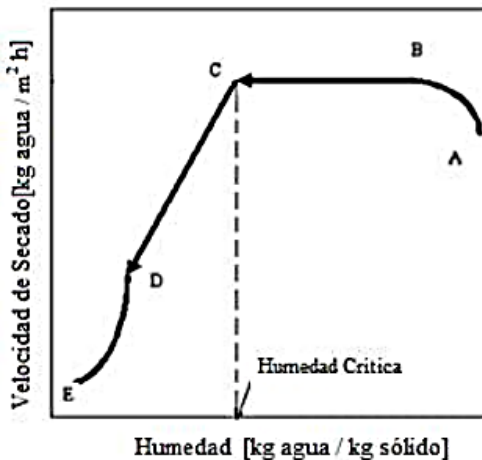


Figura 22: Velocidad de secado

Fuente: Fito P. (p.25)

Calor latente de vaporización del agua contenida en los granos

Es la energía requerida para realizar un cambio de fase. Se han desarrollado muchos modelos matemáticos que permiten dimensionar el calor latente. Trejos (1986), a partir de las isotermas de equilibrio higroscópico determinó la siguiente ecuación para café pergamino:

(Ec.32)

Donde:

T: Temperatura en la superficie del producto, en °C

X: Contenido de humedad del producto.

Se sabe que el café y el cacao son frutos de familias cercanas, por lo que se utilizará esta ecuación para los cálculos correspondientes.

Tiempo de secado

El tiempo de secado se puede determinar considerando las dos etapas más importantes de la curva de secado. Cuando el proceso está en la zona de secado a velocidad constante V_c , entonces el tiempo para esta zona se establece en (2). P.Fito (2001) p.25.

$$\frac{m_s (X - X_c)}{V_c} \quad (Ec.33)$$

Dónde:

= tiempo de secado a velocidad constante

= masa del sólido a secar

= humedad inicial,

= humedad en el punto crítico

= masa de agua

= velocidad de secado constante.

Cuando el proceso está en la fase de secado a velocidad decreciente, entonces el tiempo se calcula según (3). P.Fito. (2001) p.25.

$$\frac{m_s (X - X_c)}{V_c} \quad (Ec.34)$$

Para las dos ecuaciones, las humedades X , están expresadas en base seca.

2.3 Definición de Términos Básicos

Agricultura: es el conjunto de técnicas, conocimientos y saberes para cultivar la tierra y la parte del sector primario que se dedica a ello. En ella se engloban los diferentes trabajos de tratamiento del suelo y los cultivos de vegetales. Comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural.

Cambio Climático: Es la variación del clima del planeta tierra generada por la acción del ser humano. Este cambio climático es producido por el proceso conocido como efecto invernadero, que provoca el llamado calentamiento global.

Esfuerzo físico: Generan cansancio, pero también pueden originar lesiones osteo musculares. Estas se manifiestan en dolor, molestias, tensión o incluso incapacidad. Son resultado de algún tipo de lesión en la estructura del cuerpo. Es obligación empresarial controlar aquellas condiciones de trabajo que las puedan causar o ser factor de riesgo en estos daños.

Horno de secado: Son equipos que garantizan buenos resultados, al permitir regular la evaporación de manera progresiva, pudiéndose variar progresivamente la temperatura del horno para el proceso de secado, las temperaturas de funcionamiento varían entre 45 °C y 70 °C, según el nivel deseado de calor, y la operación puede durar de 2 a 10 horas continuas.

Humedad crítica de un sólido: Se conoce al punto en el que la velocidad de secado deja de ser constante y empieza a ser 16 decreciente, a estos períodos de secado se los llama antecrítico y postcrítico.

Humedad de equilibrio: Se refiere al valor de humedad que se alcanza cuando un sólido húmedo se pone en contacto con aire a ciertos valores de temperatura y humedad constantes. Cuando la presión parcial del agua contenida en el sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua contenida en el aire, se alcanzan las condiciones de equilibrio.

Intemperie: Ambiente atmosférico considerado como variaciones e inclemencias del tiempo que afectan a los lugares o cosas no cubiertos o protegidos.

Rubro: Consiste en reunir en un mismo conjunto a entidades que comparten ciertas características. Un rubro comercial es el sector de la actividad económica que engloba a las empresas que actúan en una misma área.

Transferencia de calor: Se refiere al paso de la energía térmica, que es conducido desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

Transferencia de masa: La transferencia de masa es la tendencia de uno o más componentes de una mezcla a transportarse desde una zona de alta concentración del o de los componentes a otra zona donde la concentración es menor.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se encontrará ubicada en un diseño no experimental basada en una investigación proyecto factible.

Según Palella y Martins (2003), define:

El diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no varía intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica si no que se observa las que existen, las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, lo que permite influir sobre ellas para modificarlas” (p.81).

Luego de conocer las características de la investigación, esta se encontrará ubicada en la modalidad de proyecto factible, en la cual según la definición de Mijares y García en la guía de normas para la elaboración y presentación de los anteproyectos, proyectos y trabajos de grado de la Universidad José Antonio Páez (UJAP) (2007) se define:

Consistirá en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades. (p.05).

El tipo de investigación responderá a un proyecto “factible” debido a que elaborará una propuesta viable, destinadas a dar solución al problema o necesidad por la cual pasa este municipio de Borburata en la ciudad Puerto Cabello a la hora de realizar el proceso del secado del cacao, con el fin de evitar pérdidas del producto debido a los cambios climáticos que se están presentando en la actualidad, mejorar la productividad e incrementar la producción del mismo.

3.2 Diseño de la Investigación

Siguiendo el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2016), define.

Se entiende por Investigación Documental, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor.

Así mismo el Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (2016), define.

Se entiende por Investigación de Campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios. Sin embargo, se aceptan también estudios sobre datos censales o muestrales no recogidos por el estudiante, siempre y cuando se utilicen los registros originales con los datos no agregados; o cuando se trate de estudios que impliquen la construcción o uso de series históricas y, en general, la recolección y organización de datos publicados para su análisis mediante

procedimientos estadísticos, modelos matemáticos, econométricos o de otro tipo.

El proyecto de Investigación es de diseño de “campo y documental” ya que se estudiará el problema que se presenta a la hora de secar el cacao debido a los cambios climáticos, esfuerzos de los trabajadores, el desgaste al cual se someten los trabajadores por los cambios de climas, una vez teniendo la información se estudiara a fondo el problema con el apoyo de trabajos anteriores, información electrónicos, manuales etc.

3.3 Nivel de investigación

La presente investigación se ubicará en un nivel del tipo descriptivo. Según Arias (2012) define:

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (pág. 24).

Desde el punto de vista de los objetivos internos de la investigación es del tipo “descriptiva” puesto que esta investigación comprenderá la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, la composición o proceso de los fenómenos. Se busca determinar “como esta” o “como es” el estado de un problema, sin establecer relaciones de casualidad; es decir, ahonda en detalles sobre el fenómeno en estudio, con el fin de justificar controversias, llenar vacíos de conocimientos o corregir errores de conceptos.

3.4 Población y Muestra

Según Arias (2012), se entiende por población: “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (p. 81). En este sentido, para el presente proyecto de investigación, se considerará como población el cacao que se produce en la

población de Borburata ubicada en la Ciudad de Puerto Cabello en el Estado Carabobo el cual es de población amplia.

De la misma manera, Arias (1997), define la muestra como “un subconjunto representativo finito que se extrae de la población accesible” (p.83). Para el proyecto de investigación se seleccionará como muestra al cacao que se cosecha en la población de Borburata ubicada en la Ciudad de Puerto Cabello en el Estado Carabobo, debido al problema en el que se encuentra; cumple con el requerimiento para la elaboración de un proceso de investigación.

Como la población y la muestra es la misma se tiene como resultado que es un tipo de muestra censal.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1 Técnica

Según Arias (2012). “se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información.” (p. 67). En esta investigación se usarán dos tipos de técnicas que serán utilizadas para poder realizar el análisis de los datos como serán: la observación directa y la entrevista no estructurada. Según Arias (2012) la observación directa se define como: “el investigador pasa a formar parte de la comunidad o medio donde se desarrolla el estudio” (p. 70). Mediante esta técnica se logrará conocer la problemática y la necesidad de los trabajadores a la hora de realizar el trabajo de secado del cacao, en el municipio Puerto Cabello Parroquia Borburata, debido a los cambios climáticos.

De la misma manera se usará la entrevista no estructurada la cual según Arias (2012) se define como: “la entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un dialogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida”. (p.73). En esta técnica se podrá obtener de forma precisa y clara la necesidad de los trabajadores para realizar

el proceso. Para la entrevista se realizará un cuadro de tabulación con las opiniones de las personas entrevistadas. También, se plasmará una gráfica para analizar las respuestas de las personas.

3.5.2 Instrumento

Según Arias (2012), define “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p. 68). Para la ejecución de este proyecto de investigación, se hará uso de teléfonos celulares y cámaras fotográficas para la recolección de datos en la observación directa y para la entrevista estructurada se establecerá el uso de grabadoras para recopilar los datos e información que sean aportadas por los trabajadores a los que se les aplicara la misma.

3.6 Fases de la investigación

Fase I: Diagnóstico de la situación actual del proceso de secado de cacao en la población de Borburata

Para la elaboración de esta fase se tendrá que dirigir hacia la población de Borburata con la finalidad de poder recolectar los datos necesarios que puedan dar a conocer la verdadera situación por la que está pasando dicha población a la hora de ejecutar el secado del producto, además, también se realizara una entrevista no estructurada a los trabajadores para conocer la opinión de cada uno de ellos y la necesidad en la que se encuentran a la hora del secado, ya que ellos son las personas más indicadas para dar a conocer la situación exacta de la problemática.

Fase II: Realizar un estudio térmico para la selección de la tecnología más adecuada para efectuar el proceso de secado del cacao.

Para el cumplimiento de esta fase se necesitará conocer cada aspecto relacionado a la parte térmica, como lo serian: la temperatura, humedad, volumen específico, la transferencia de calor, etc., donde a través de estos

aspectos se podrá seleccionar el método más apropiado para ejecutar el secado del cacao en la zona tomando en cuenta cada una de las variables incluidas y así mismo se realizarán los cálculos necesarios para la ejecución del proceso de secado del producto.

Fase III: Diseñar el sistema de secado de cacao.

Luego de realizar todos los estudios y cálculos necesarios para la ejecución del proceso; se efectuará el diseño haciendo uso de un programa digital el cual ha sido estudiado durante el trayecto de la carrera.

Fase IV: Realizar un análisis económico para demostrar la factibilidad del proceso.

Para la ejecución de esta fase se buscará el costo, presupuesto y disponibilidad de los diferentes materiales y quipos en los distintos establecimientos a nivel nacional, para realizar el análisis económico y así se pueda demostrar si es factible o no ejecutar el proceso de secado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diagnosticar la situación actual del proceso de secado de cacao en la población de Borburata.

4.1.1 Clima en Puerto Cabello

Puerto Cabello tiene un clima tropical. En comparación con el invierno, los veranos tienen mucho más lluvia. Este clima es considerado tropical con invierno seco (AW) según la clasificación climática de Koppen-Geiger. La temperatura media anual en Puerto Cabello se encuentra a 27.2°C, en un año la precipitación media es de 925 mm. El mes más seco es marzo, con 24 mm. En noviembre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de 121 mm. El mes más caluroso del año con un promedio de 27.9 °C de octubre. A 25.9 ° C en promedio, enero es el mes más frío del año (ver figura 23)

Temperatura	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Juni	Juli	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	25.9	26.3	26.9	27.7	27.7	27.5	27.2	27.5	27.8	27.9	27.4	26.7
Temperatura min. (°C)	22.2	22.6	23.4	24.7	24.6	24.1	23.8	23.9	23.9	23.9	23.4	22.9
Temperatura máx. (°C)	29.7	30.1	30.4	30.7	30.9	31	30.7	31.2	31.7	31.9	21.4	30.5
Precipitación (mm)	74	30	24	53	78	85	110	97	65	88	121	100

Figura 23: Tabla de datos históricos del tiempo en Puerto Cabello

Fuente: <https://es.climate-data.org>

4.1.2 Características físicas y organolépticas del cacao en Puerto Cabello

En este punto del proyecto, las características físicas y químicas de la almendra de cacao son de gran importancia ya que los grandes productores toman a consideración esos factores al momento de seleccionar el producto. La calidad física del cacao se determina por el tamaño y peso de la almendra; también influyen el porcentaje de fermentación; contenido de testa o cascarilla; contenido de humedad y defectos. A mayor tamaño y peso de las almendras, menor será la testa o cascarilla, la misma que representa un desperdicio para la industria. El contenido de humedad en la almendra no debe ser mayor del 7% según la NORMA INEN 176, 2006

En la calidad química del cacao se toman a consideración la grasa, proteína y polifenoles, índice de saponificación, y características de ácidos grasos que se encuentran dentro de la almendra. La manteca de cacao es una mezcla de glicéridos, y es importante en la percepción del sabor del cacao; a esta le corresponde cerca del 50% del peso seco del grano, proteína entre 15 Y 20% de peso del grano seco, y a los polifenoles de la almendra del 12 al 18% de todo el peso seco del grano según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2010). (ver figura 24).

El grano de Puerto Cabello posee unas características de alta genética trinitaria y mediana descendencia criolla con 20% de granos blancos, a causa de la hibridación de calidad que constituye. En relación a su peso, generalmente los granos contienen 78 almendras sobre un peso de 100 gr; es decir que cada almendra tiene un peso aproximado de 1,28 gr. Según Ramos. G."El cacao de Borburata presenta una intensa variedad de atributos que combinan suaves notas de flores, frutas y nueces acompañadas con aromas de especies dulces como canela y clavitos de olor." (Ver figura 25).

Se destacan los atributos intensos de la canela, los aromáticos de las especias y los suaves a hierbas, flores, lluvia y tierra mojada. Las condiciones de suelo y clima de la zona, así como la vegetación xerófila y la fauna de aves como el flamenco, caracterizan y moldean los atributos de sabor de los productos del cacao de Borburata. (Ver figura 26).



Figura 26: Mapa de sensorial del cacao

Fuente: <http://borburata.intercacao.com>

4.1.3 Proceso de fermentación del cacao en Borburata

El proceso de fermentación tiene una duración de cuatro a cinco días, se realiza en un cajón de madera; donde los granos son empaquetados en sacos de nylon y cubiertos con enormes plásticos transparentes, este proceso se realiza con una frecuencia de volteo de 48 horas; el volteo permite aumentar la aireación y un fermento parejo, eliminar los mohos que se pueden acumular en el cacao y que están en la superficie de la bandeja. También ayuda a evitar que los granos ubicados en la parte de encima de la masa se resequen. El volteo de los granos favorece los cambios que provocan la muerte del embrión. Una vez completado el volteo se deben volver a

cubrir los granos para evitar pérdidas de temperatura. Se recomienda realizar tres volteos: el primer volteo a las 24 horas, cuando se ha alcanzado una temperatura de más de 30 a 35 grados centígrados.

El segundo volteo se realiza a las 48 horas y el tercer volteo a las 72 horas. El volteo se realiza a la misma hora con el propósito de que los granos se revuelvan y froten las semillas sin sufrir daños. El volteo asegura que los granos de cacao se fermenten de forma pareja y en un tiempo adecuado. Dependiendo de las condiciones del grano y el clima, se puede completar la fermentación y pasar a la etapa de secado dentro de unas 120 horas o cinco días. En otras ocasiones, el proceso de fermento puede durar más días y tardar entre cinco y ocho días. (Ver figura 27)



Figura 27: Proceso de fermentación del cacao
Fuente: <http://cacaomovil.com/guia/8/contenido/fermentacion/>

Proceso de secado en Borburata

En esta población se tiene implementado el proceso del secado manual, el cual se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que suministra una temperatura satisfactoria para la continuación de algunos cambios que no han terminado en las almendras durante la fermentación. (Ver figura 28)



Figura 28: Proceso de secado manual del cacao
Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

Una vez que se cumple el secado del producto se inicia al proceso de selección y almacenamiento del producto final. (Ver figura 29)



Figura 29: selección del cacao
Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

4.1.5 Análisis de la situación actual

Mediante una entrevista estructurada realizada a 40 trabajadores y productores encargados del secado del cacao en la población de Borburata; se logró sustentar el problema existente de ejecutar dicho proceso de forma manual y natural; a continuación se presentan los resultados obtenidos basados en las siguientes preguntas:

1 ¿En cuánto tiempo se lleva a cabo el secado del cacao?

En respuesta a la pregunta aplicada se obtuvo que de 40 personas, 25 de ellas respondieron que el tiempo de secado es indefinido ya que depende del clima al cual se encuentra sometido el proceso, 10 personas respondieron que un período de 10 a 15 días que es el tiempo estimado y apropiado; y el resto respondió que entre 16 a 25 días lo que representa un período bastante extenso. (Ver gráfico 1).

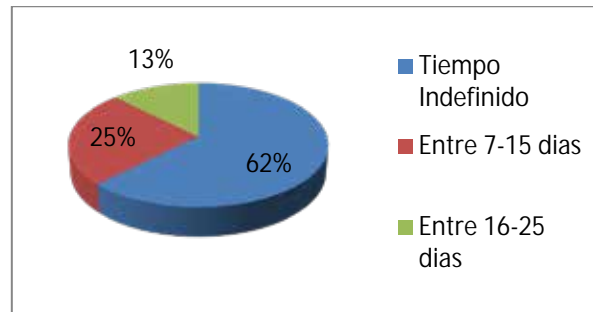


Gráfico 1: En cuánto tiempo se lleva a cabo el secado del cacao

Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

2 ¿Cómo se hace en los tiempos de lluvia?

Con relación a la pregunta antes propuesta, 15 personas respondieron que se pierde la producción debido a la lluvia, 17 personas respondieron que se paraliza el proceso para no perder la cosecha y el resto se dedica a trabajar con otros rubros durante el tiempo de lluvia. (Ver gráfico 2).

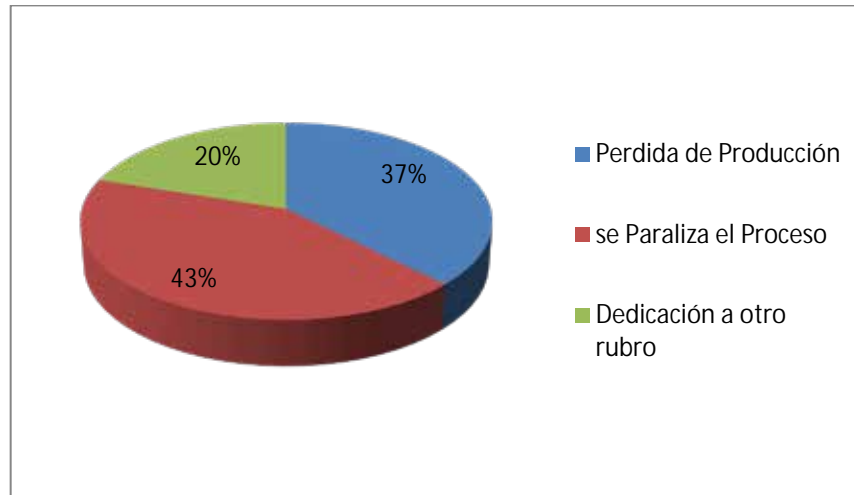


Gráfico 2: Cómo se hace en los tiempos de lluvia

Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

3 ¿Qué edad tienes?

En lo concerniente a la pregunta, 25 personas se encuentra entre los 21 y 40 años siendo esta la mayor cantidad de trabajadores, 10 personas se encuentra que son mayores de 40 años y el resto entre las edades de 15 a 20 años. (Ver gráfico 3)

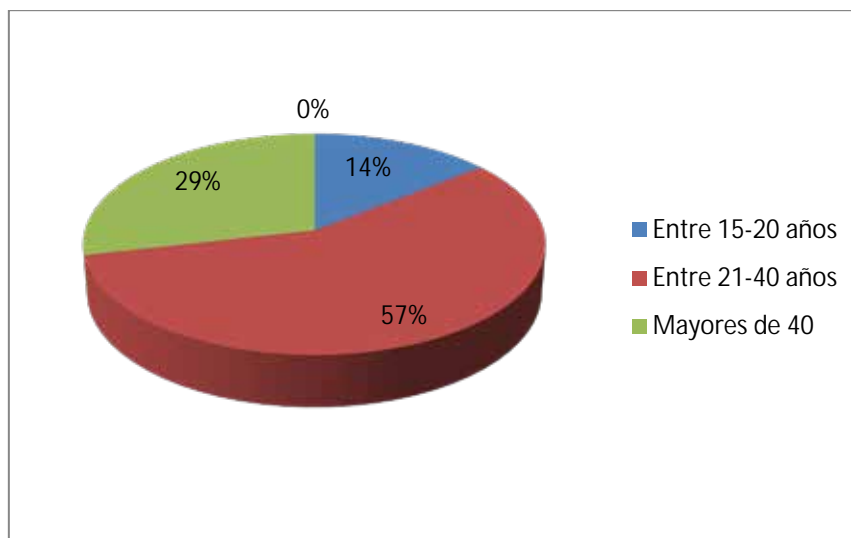


Gráfico 3: Edad de los trabajadores

Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

4 ¿Problemas físicos presentado durante la vida laboral?

Con referencia a la preguntas mencionada, siete personas respondieron que padecen de lesiones músculo-esqueléticas en las articulaciones debido al esfuerzo del trabajo, cinco personas respondieron que sufren de hernias por las fuerzas aplicadas durante el trabajo, ocho personas respondieron que tiene problemas de circulación por estar tanto tiempo agachados, 17 personas respondieron que debido al trabajo forzado padecen de los problemas físicos antes mencionados y el resto respondió que se encuentran en muy buen estado físico. (Ver gráfico 4)

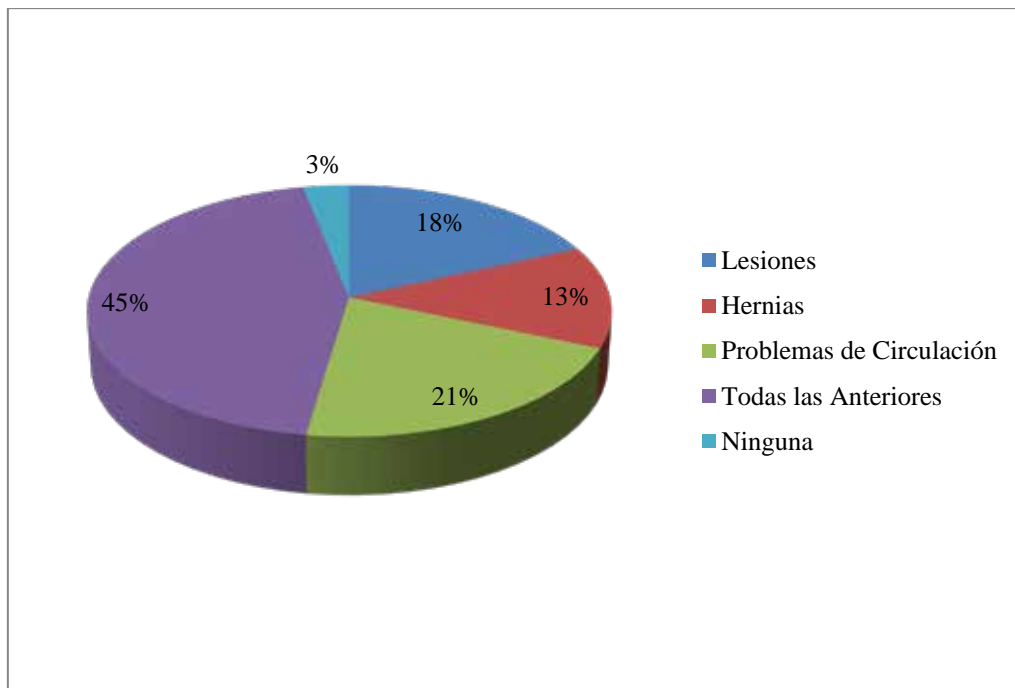


Gráfico 4: Problemas físicos presentado durante la vida laboral
Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

5 ¿Encuentras factible la realización de un dispositivo de secado artificial (horno secador)?

Como resultado a la pregunta realizada, 28 personas respondieron que si es factible el realizar un dispositivo para el secado del cacao y así poder ejecutar el secado del mismo de una forma más rápido y así aumentar la economía y el resto de

las personas respondieron que no es factible pero ellos responden de esa manera debido a que están pensando en que se van a quedar sin trabajo. (Ver gráfico 6)

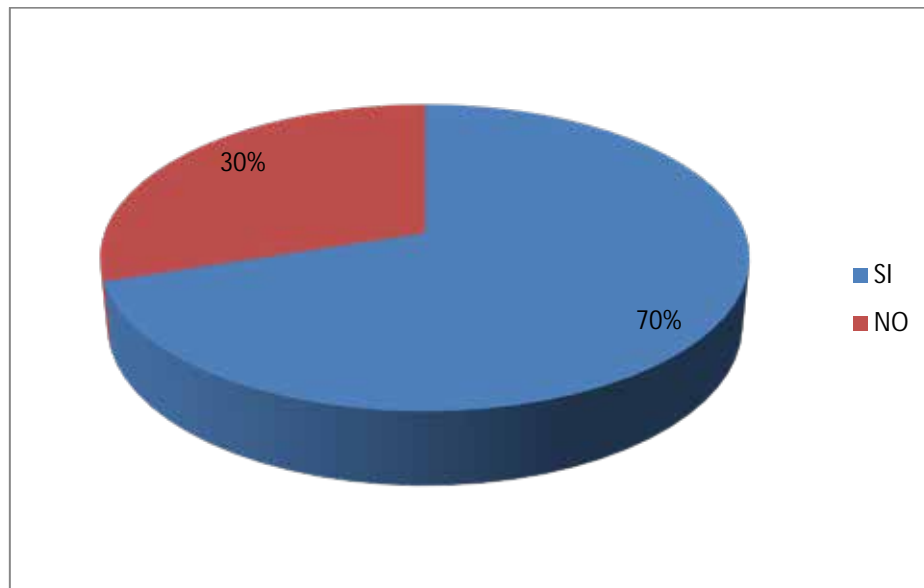


Gráfico 5: Encuentras factible la realización de un dispositivo de secado artificial (horno secador)

Fuente: Pisellini Marchegiani, Riera (2020)

Una vez aplicada la entrevista y obtenidos los resultados es que surge la necesidad de implementar una unidad secadora de cacao eficiente lo cual fundamenta el estudio propuesto.

4.2 Realizar un estudio térmico para la selección de la tecnología más adecuada para efectuar el proceso de secado del cacao.

4.2.1 Identificación de los parámetros que intervienen en el proceso de secado del cacao

Mediante la investigación de campo, haciendo uso del instrumento y las herramientas correspondientes y recolectando datos bibliográficos se obtuvo las características iniciales necesarias para el estudio térmico, expuestas en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetro iniciales para el proceso de secado

Características	
Humedad inicial del cacao	40% - 50%
Humedad final del cacao	6%-7%
Producción diaria de cacao	500kg
Temperatura media de Borburata	27°C
Humedad relativa promedio	44%
Velocidad del viento local	8km/h
Temperatura máxima del cacao	60°C

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

4.2.2 Selección del secador

Analizando las condiciones necesarias para obtener el cacao seco manteniendo las características óptimas y la calidad del producto se determinó que el secador más adecuado es el secador cilíndrico, el mismo que se compone de unas paletas rotatorias, debido a que los granos se encuentran en constante movimiento facilitando el intercambio de calor y humedad, disminuyendo así el tiempo de secado, y ocupando menos espacio. Las condiciones para un correcto funcionamiento del secador durante todo el proceso, es mantener constantes las temperaturas, para ello se hizo uso de un controlador de temperatura que cumplirá esta función, además se tomara en cuenta que el cacao será calentado mediante resistencias térmica de manera de imitar el proceso de secado natural.

4.2.3 Cálculos termodinámicos

Se realiza un análisis del flujo de entrada y salida del producto húmedo previo a los cálculos termodinámicos, se debe tomar en cuenta que el equipo debe tener una capacidad para secar 500 kg de cacao húmedo en una jornada aproximada de 6 horas.

Al inicio del proceso el producto tiene una humedad relativa media de 45% lo que significa que el 45% es agua y el 55% es sólido seco. Se procede a obtener el flujo másico de sólido seco () y flujo másico de agua a la entrada del secador se utilizan las siguientes expresiones:

Flujo de masa de producto seco a la entrada

Flujo de masa de agua a la entrada

Flujo másico de agua a la salida del secador

A la salida del secador, la humedad del producto debe ser de 7%; además el flujo de sólido seco no cambia, es decir permanece constante durante todo el proceso con un valor de 45,8315 kg/h

Flujo de producto húmedo

El flujo másico de producto húmedo a la salida del secador se obtiene sumando el flujo másico de sólido seco más el flujo másico de agua.

En la tabla 2 se detalla los valores de flujos de entrada y salida de producto del secador rotatorio, ver tabla 2.

Tabla 2: Flujos de entrada y salida de granos de cacao

Flujos de producto (granos de cacao)	Entrada (45%)	Salida (7%)
Flujo de sólido seco —	45,8315	45,8315
Flujo másico de agua —	37,4985	3,45
Flujo de producto húmedo —	83,33	49,2815

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

A la salida del secador, el flujo de granos de cacao seco es de 49,2815 — . En una jornada de 6 horas, se obtendrán 295,7 kg de granos de cacao seco al 7% de humedad. El porcentaje de pérdida de peso es de 40,86% de cacao húmedo a 45% de humedad. Estos 204,3 kg de pérdida de peso corresponden al agua que se evapora por el proceso de secado en el secador rotatorio.

4.2.4 Cálculo de calor requerido para el secado

Para obtener la energía o calor necesario para secar el producto se realiza un balance de energía en el intercambiador de calor. El calor que se añade al sistema de control en el intercambiador de calor es añadido por las resistencias y se denomina . (Ver figura 30)

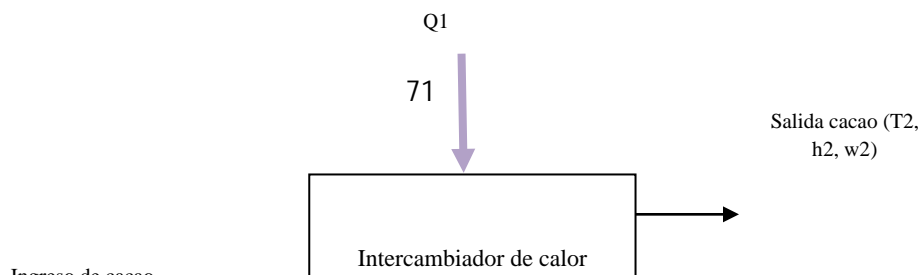


Figura 30: Balance de energía en el intercambiador de calor

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Antes del ingreso al intercambiador de calor se conoce la temperatura y la humedad relativa del aire (Ver tabla 3)

Tabla 3: Datos iniciales necesarios

Características	Datos
Temperatura del aire a la entrada (T1)	27°C
Humedad relativa local	44%
Temperatura del aire a la salida (T2)	50°C
Calor específico del cacao (Cp)	2,4231 kJ/kg°C
Calor latente de vaporización del agua	2257 kJ/kg
Densidad del cacao ()	520 kg/m ³

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Tabla 4: Datos obtenidos de la tabla de propiedades térmicas del aire y agua saturada a las temperaturas de trabajo.

Temperatura	Presión de	Calor específico	hg (vapor de
-------------	------------	------------------	--------------

°C	saturación (agua saturada) kPa	(aire) kJ/kg*K	agua saturada) kJ/kg*K
27	3,6	1,007	2550,14
60	19,947	1,007	2608,8
50	12,35	1,007	2591,3

Fuente: Yunus A., Cengel y Michael A., Boles (2012)

Proceso de secado de los granos de cacao

El flujo de agua del producto húmedo al ingreso del secador se denomina \dot{m}_w y durante el proceso de secado este valor disminuye hasta el valor \dot{m}_w^* , debido a la reducción del contenido de humedad del sólido. La diferencia de estos valores se denomina tasa de vaporización de agua y es la base para calcular el calor necesario de secado.

—

Dimensionamiento del secador

Se supone que el diámetro es de 1 m, la longitud es de 1,5 m; además la velocidad de giro debe ser un valor bajo ya que a una velocidad muy alta puede ocasionarle daños a los granos de cacao; por lo tanto se supone que la velocidad de giro es 4,6 rpm, (Ver tabla 5)

Tabla 5: Dimensiones del secador

Dimensiones	
-------------	--

Longitud sección del cilindro (m)	1,5
Diámetro externo del cilindro (m)	1
Diámetro interno del cilindro (m)	0,994
Velocidad de giro N (rpm)	4,6

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Como el flujo de producto húmedo es de 83,33 kg/h, el volumen que ocupa esta masa de cacao es de:

—
—

Según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estipula que el volumen de los granos de cacao debe ocupar entre 10% y 15% el volumen del secador; por lo tanto:

—

Luego se compara con el volumen del tambor que asumimos:

—

Verificando que el volumen se encuentre entre los parámetros:

—

El volumen del cacao ocupa el 13,5% del volumen del secador encontrándose dentro de los parámetros normalizados.

4.2.5 Principales pérdidas de calor en el secador

Las principales pérdidas en el secador rotatorio son por convección y radiación para determinar dichas pérdidas se realiza un sistema de control a una sección del tambor. Mediante analogías de resistencias eléctricas se determina la pérdida de calor a través de las planchas de acero sin aislamiento térmico, cabe indicar que este tipo de secadores no llevan aislamiento térmico porque las pérdidas de calor sin aislamiento

son mínimas, para ello se realizan los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor por convección en el exterior del tambor rotatorio () y dentro del tambor rotatorio

Coefficiente de convección externo

En la correlación de Churchill y Bernstein; todas las propiedades se evalúan a la temperatura de película , es decir la temperatura promedio entre la temperatura superficial del tambor rotatorio y la temperatura ambiente.

La temperatura de película:

Las características de aire a temperatura fílmica 36° se pueden ver en la tabla 6.

Tabla 6: Características del aire a temperatura fílmica 36°C

Característica	Dato
Calor específico —	1007
Viscosidad dinámica —	
Viscosidad cinemática—	
Número de Prandtl	0,72654
Conductividad térmica	0,026324

Fuente: Yunus A., Cengel y Michael A., Boles (2012)

Número de Reynolds:

—

Número de Nusselt:

$$\frac{h_c D}{k_f} = \frac{h_c D}{k_f} \left(\frac{\mu_f}{\mu_s} \right)^{1/4} \left(\frac{\mu_s}{\mu_f} \right)^{1/4} \left(\frac{\mu_f}{\mu_s} \right)^{1/4} \left(\frac{\mu_s}{\mu_f} \right)^{1/4}$$

Coefficiente de convección interno

En el cálculo del coeficiente de convección interna se debe determinar si la transferencia es por convección natural convección forzada o que los dos métodos actúan al mismo tiempo. Para esto se usa la siguiente relación:

$$\frac{Gr Pr}{Re Pr}$$

Dónde:

Factor determinante del modo de transferencia de calor.

Numero de Grashof.

Numero de Reynolds.

Se considera convección natural si $\frac{Gr Pr}{Re Pr} < 0.1$, se considera convección forzada si $\frac{Gr Pr}{Re Pr} > 10$ y se considera los dos modos de transferencia de calor si $0.1 < \frac{Gr Pr}{Re Pr} < 10$.

Número de Grashof

Para el cálculo del número de Grashof se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Gr} = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) D^3 \rho^2}{\mu^2}$$

Para la resolución de la siguiente ecuación se debe tener presente que el promedio del diámetro del grano de cacao es $D=0,01532\text{m}$ y la viscosidad cinemática del aire

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Número de Rayleigh

El número de Rayleigh se obtiene con la siguiente ecuación:

Todas las propiedades del aire deben ser evaluadas a $T=50\text{ C}$ y $P= 12,352\text{kPa}$ que son la temperatura y presión de saturación del agua dentro de la cámara de secado.

Número de Nusselt

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

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

Por lo tanto el coeficiente de convección interno:

$$\frac{1}{h_i} = \frac{1}{h_o} - \frac{1}{h_c}$$

Con los coeficientes de transferencia de calor interno y externo de secador, se obtiene el calor perdido por convección. Se utilizó la analogía de resistencia eléctrica para determinar la pérdida de calor sin aislamiento térmico. El calor se pierde por convección interna, luego por la plancha de acero, seguido por convección en el exterior, (Ver figura 31)

Para obtener el calor que se pierde sin aislamiento térmico se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{h_c} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

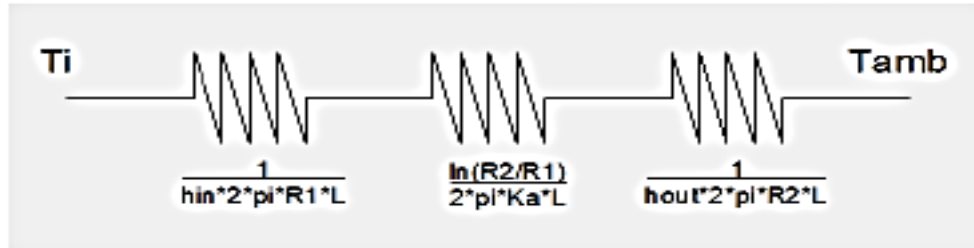


Figura 31: Esquema de resistencia para un secador rotatorio sin aislamiento térmico.
Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Calculo del calor total

Coefficiente de radiación

Para obtener la pérdida de calor por radiación se utiliza la ecuación de Stefan-Boltzmann:

La emisividad (ϵ) en esta ecuación es igual a 0,17; la constante de Stefan-Boltzmann (σ) es igual a $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Las temperaturas de la superficie del secador (T_s) y del medio ambiente (T_a) deben estar en grados Kelvin.

4.2.6 Cálculo del tiempo de secado

Con el fin de aumentar la producción, se decidió que el proceso de secado se dé en no más de seis horas. El cálculo del tiempo de secado, se obtuvo mediante la ecuación de tiempo de secado de vacío del libro

. Xiao Dong Chen, Arun S. Mujumdar. (2009), el cual es:

Dónde:

Tiempo de secado del producto, s.

: Espesor del producto, m.

Conductividad térmica del grano seco, W/mk.

Calor latente de vaporización del agua, KJ/kg.

Temperatura dentro del tanque (T=50 C), C.

: Temperatura superficial del cacao húmedo, C.

: Coeficiente de convección total W/m²k.

: Contenido de agua inicial, kg agua/kg cacao seco.

: Contenido de agua, kg agua/kg cacao seco.

: Contenido de agua en equilibrio, kg agua/kg cacao seco

Coeficiente total de convección interna

Tiempo de secado

Tabla7: Resultados obtenidos del estudio térmico

	Datos iniciales	Datos finales
Humedad	40%-50%	6%-7%
Temperatura	27°C	50°C
Flujo de producto por secado	83,33 kg/h	45,8315kg/h
Flujo de producto por jornada	500kg	295,7kg
Tiempo de secado por jornada		5,6h
Qpérdido		435,23kW
Qcacao		23,819kW
Qtotal		459,05kW

Fuente: Pisellini Marchegiani G. Riera E. (2020)

4.2.7 Selección de resistencias térmicas

Conociendo la potencia requerida la cual es de 459,05 kW, se procedió a seleccionar por medio de un catálogo las características principales de las resistencias, tomando en cuenta el factor de sanidad, la resistencia debe cumplir no solo con los parámetros necesarios para el procedimiento de secado del cacao sino además, no debe contaminar el cacao, por lo tanto el material debe ser de acero inoxidable.

Primero se procede a calcular la intensidad de corriente

Para calcular el valor óhmico de las resistencias eléctricas se utiliza la siguiente ecuación:

La resistencia seleccionada fue del catálogo de la empresa TOPE, una resistencia blindada para cámaras calientes, construida con las características necesarias para cumplir con el procedimiento, esta empresa se encarga de fabricar las resistencias con la tensión, potencia, medidas y forma, para cada necesidad, bajo pedido; se utilizará una resistencia con las siguientes características (Ver tabla 8)

Tabla 8: Características de las resistencias

NOMBRES	VALORES
Resistencia	
Potencias	6kW
Material	AISI 304
Largo	1,2 m
Volta je	120V
Corriente	3,83AMP

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

La resistencia cuenta con unas dimensiones de 1,2m de largo y 20cm de ancho esta será colocada en la parte superior de la cámara y desde este lugar ejerce transferencia

de calor por radiación sobre los granos del cacao produciendo su secado, (Ver figura 32)



Figura 32: Resistencia blindada para cámaras caliente
Fuente: Catálogo TOPE

4.3.8 Simulación térmica

Realizando el ensamble del recipiente y la resistencia seleccionada, haciendo uso de la herramienta de simulación en el programa Autodesk Solidworks; se obtuvieron los siguientes resultados (Ver figura 33)

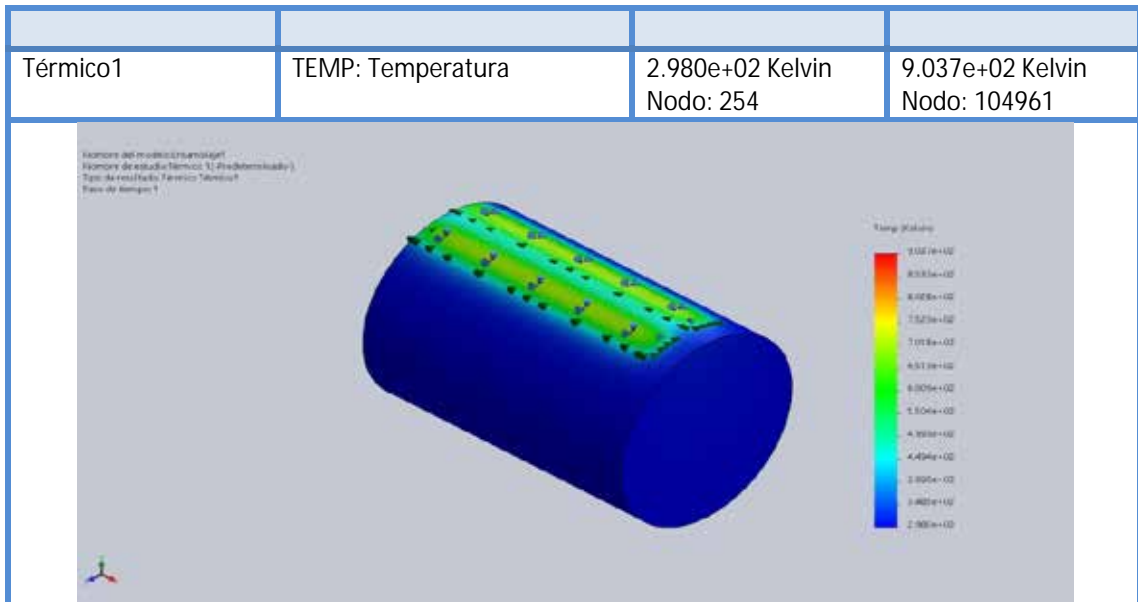




Figura 33: Análisis termico de la cámara de secado
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

Haciendo un corte transversal en el recipiente, para observar el comportamiento de la resistencia eléctrica, se obtuvieron los siguientes resultados (Ver figura 34)

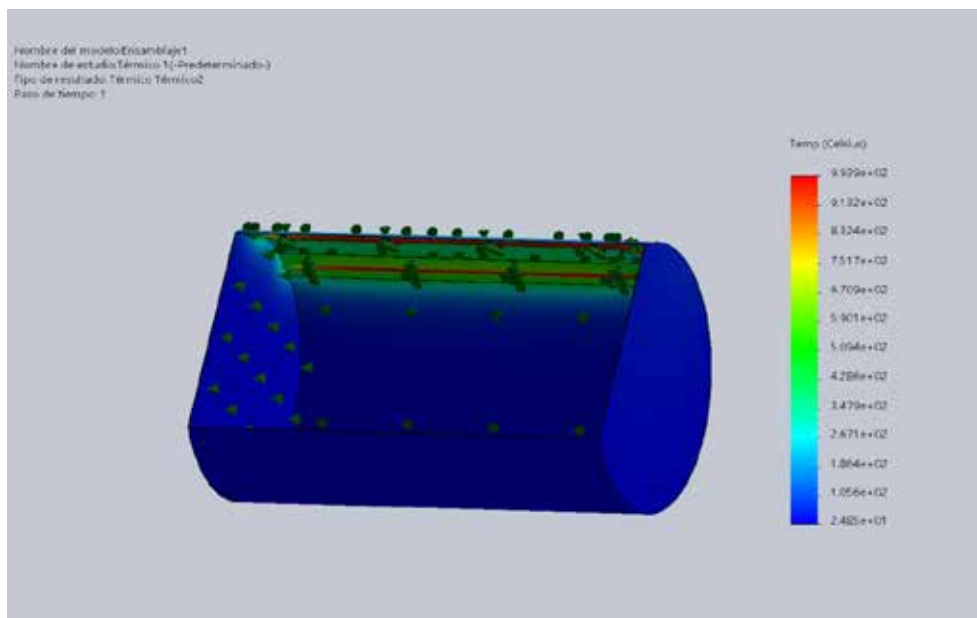


Figura 34: Análisis térmico de la cámara de secado en corte transversal
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

Analizando los resultados obtenidos en el estudio térmico arrojado por la simulación, se puede observar que haciendo uso de la resistencia seleccionada, la temperatura en el fondo del recipiente, donde se ubicará el producto a secar, alcanza los 53°C, siendo una temperatura favorable para el proceso, sin embargo en la parte superior del horno, donde está ubicada la resistencia eléctrica, la temperatura alcanza los 120°C, aunque en el estudio térmico se determinó no hacer uso de un aislante térmico, ya que se compararon las pérdidas de calor con y sin aislante y la diferencia no era considerable, se hará uso de un aislante de fibra de vidrio, ya que la

temperatura superior del tanque puede causarle daño al operador y por medidas de seguridad es lo recomendable.

4.3 Diseño del sistema de secado de cacao

4.3.1 Diseño de la cámara de secado

Cilindro de la cámara

Para el diseño de la cámara de secado fue necesario hacer iteraciones, debido a que se empezaba asumiendo el diámetro, longitud y espesor. Se selecciona el material con buena resistencia a la corrosión, así como también una mayor resistencia última y a la fluencia. Se conocen los siguientes parámetros de la cámara, ver tabla 9.

Tabla 9: Dimensiones de la cámara de secado

Medida	Cantidad
Longitud (m)	1,52
Diámetro ((m)	1
Espesor (m)	0,003

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Tapas laterales del cilindro

Para el diseño de las tapas se utilizó el mismo material del cilindro y el mismo espesor de la lámina con las siguientes dimensiones. Ver tabla 10.

Tabla 10: Dimensiones de las tapas laterales

Medida	Cantidad
Diámetro (m)	1
Espesor (m)	0,003

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Se debe mencionar que al diseño de las tapas se le realizará un orificio por donde pasara el eje de transmisión encargado de remover el cacao en el interior de la cámara, a su vez esta estructura se reforzará con unas chumaceras de pared tipo brida

ovaladas, para evitar el desgaste del eje, que fueron seleccionadas posterior al diseño del eje, ver figura 35.



Figura 35: Cámara de secado
Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Además el cilindro deberá tener una puerta de alimentación y una de descarga en la parte superior e inferior respectivamente como se muestra en la figura 36, que estarán sujetas al horno por medio de bisagras que tendrán las siguientes medidas, ver tabla 11.

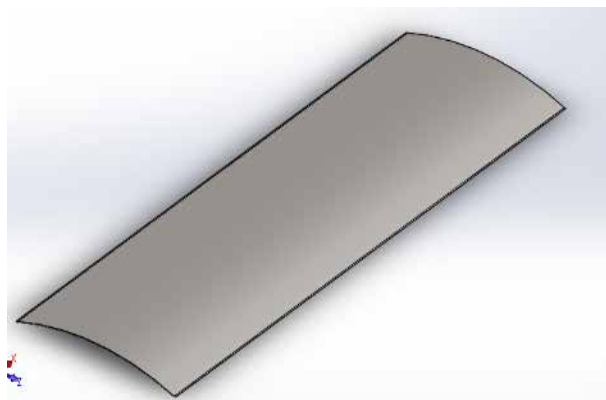


Figura 36: Compuertas de alimentación y descargas
Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Tabla 11: Dimensiones de las puertas de alimentación y descarga

Medida	Cantidad
Ancho (m)	0,3
Longitud(m)	1,2
Espesor (m)	0,003

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Al momento de seleccionar el material para la cámara de secado se toma en cuenta las condiciones ambientales de la zona y las características del cacao. Se seleccionó el acero AISI 304; es un acero austenítico y estos son los que más aplicaciones industriales han tenido, empleándose ampliamente en sectores como la industria alimentaria, tiene buena resistencia a la corrosión en zonas cercanas a la costa lo cual es de gran importancia ya que la población de Borburata es una zona costera, a su vez es importante mencionar que el cacao no puede estar en contacto con otro tipo de acero que no sea acero inoxidable, ya que se contamina cambiando sus propiedades organolépticas. Por lo tanto tomando en consideración estas variables y la disponibilidad en el mercado se optara por utilizar el acero antes mencionado.

4.3.2 Diseño mecánico del eje de transmisión

Inicialmente se diseñaron las paletas, que estarán soldadas al eje y tendrán la función de remover el cacao; las dimensiones del tubo fueron seleccionadas por el catálogo de productos, (Ver anexo A)

La parte inferior de la paleta se diseñó con una sección rectangular, del mismo tipo de material que se ha utilizado anteriormente, con las siguientes medidas, (Ver tabla 12)

Tabla 12: Dimensiones de chapa inferior de la paleta

Dimensiones	Medidas
Ancho (mm)	50
Longitud (mm)	270
Espesor (mm)	1,5

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Se debe tomar en cuenta el peso de las paletas ya que estas generaran una reacción en el eje, las cuales intervienen en la potencia necesaria, el peso de cada paleta es de 0,400kg, generando una fuerza de $F=3,96$ N por cada paleta. El material usado para la construcción tanto del eje como de las paletas es un acero AISI 304 que tiene como límite de fluencia, el valor de _____, (Ver figura 37)



Figura 37: Estructura de las paletas renovadoras de cacao

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Análisis del eje

Se determinó un diámetro de eje $D=0,048$ m, según el método de diseño de ejes en el Shigley, para el diámetro del hombro se debe tomar en consideración la relación de— dando como resultado un diámetro menor $d=0,040$ m, con una longitud $l=1,7$ m, a continuación se ingresaron estos datos al programa SolidWorks, realizando el prototipo y a su vez el estudio estático, haciendo uso de la teoría de Von-Mises arrojando los siguientes resultados (Ver figura 38)

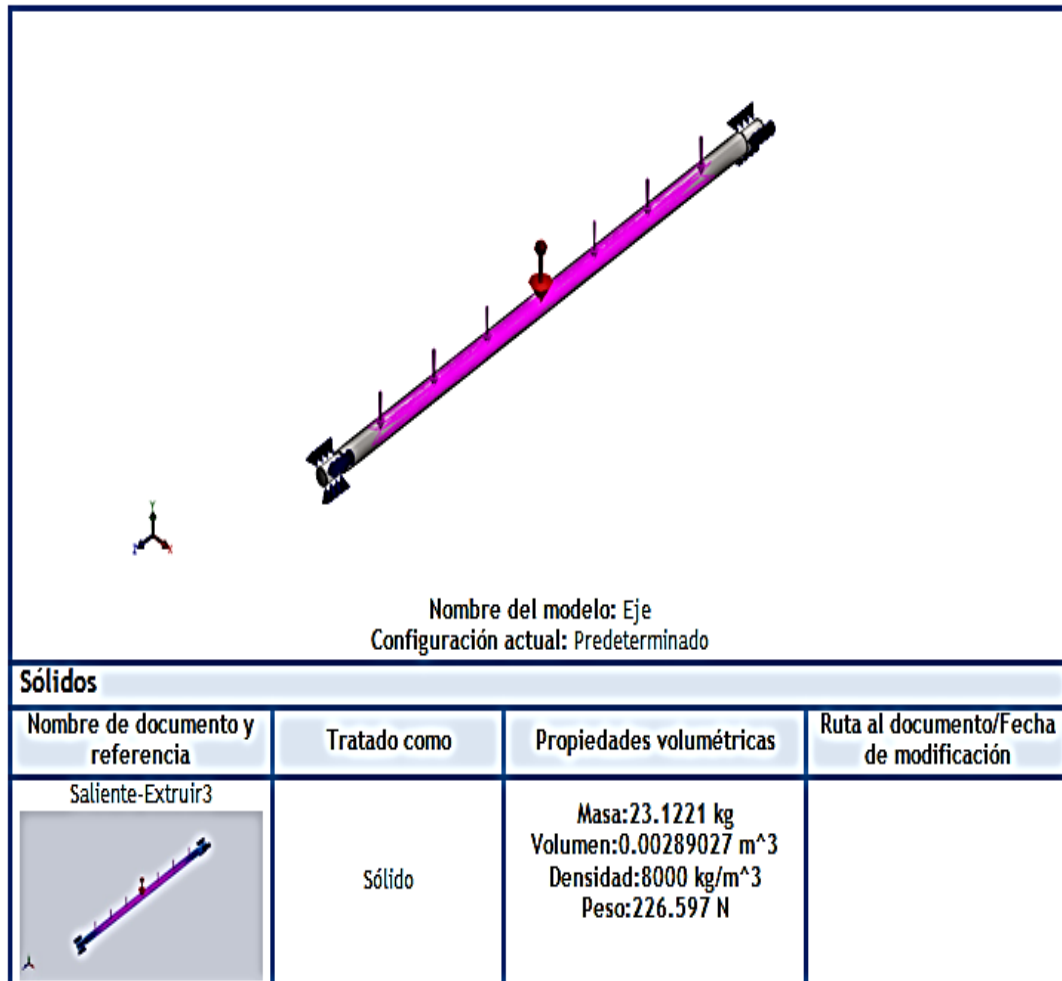


Figura 38: Propiedades volumétricas del eje
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

La teoría de Von-Mises arrojó los siguientes resultados, (Ver figura 39)

Tensiones	VON: Tensión de von Mises	5.507e+01 N/m ² Nodo: 46649	4.838e+06 N/m ² Nodo: 76961
-----------	---------------------------	--	--

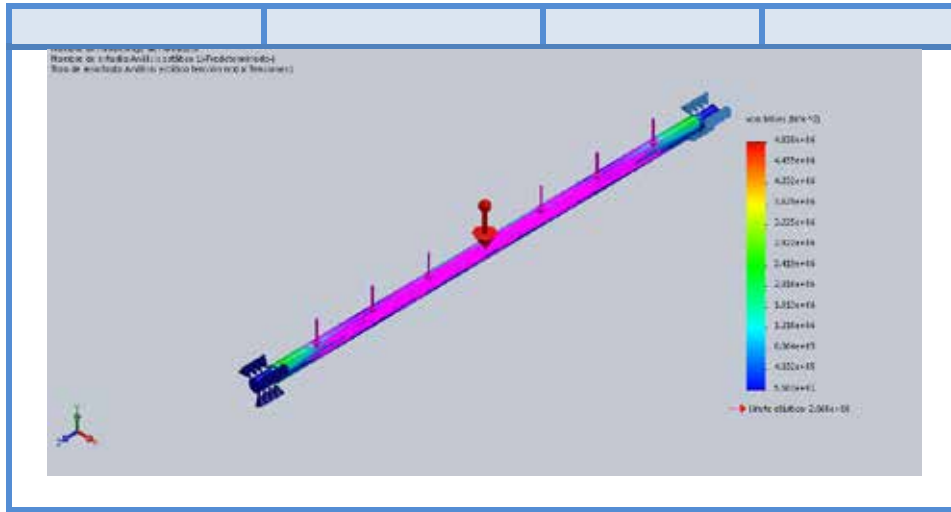


Figura 39: Resultado de las tensiones de Von-Mises
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

El resultado de las deformaciones unitarias del eje son las siguientes (Ver figura 40)

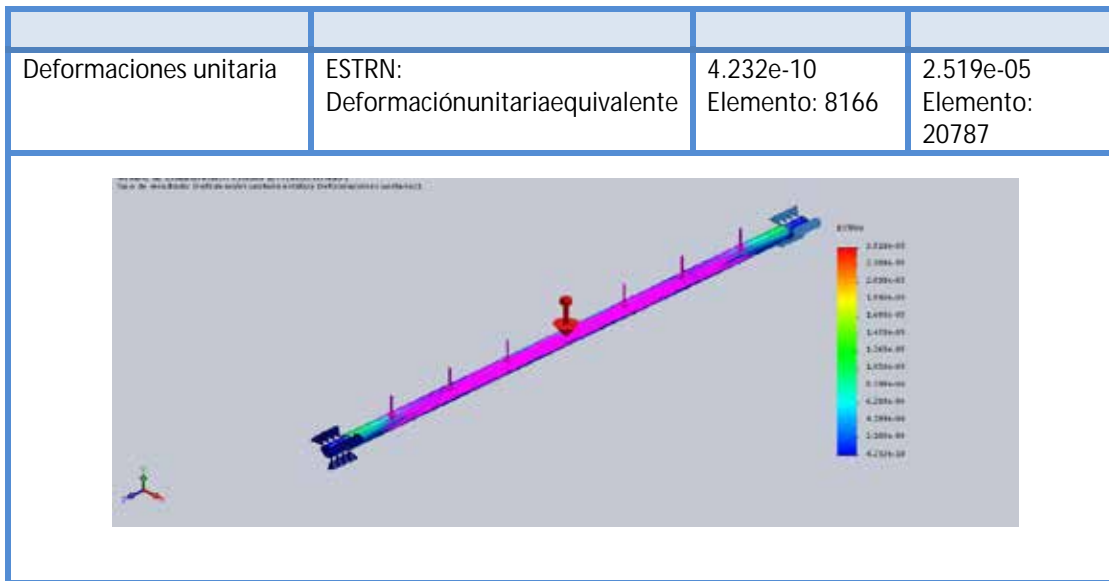


Figura 40: Resultado de las deformaciones unitarias del eje
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

Finalmente, el factor de seguridad del eje; en el estudio estático fue el siguiente, (Ver figura 41)

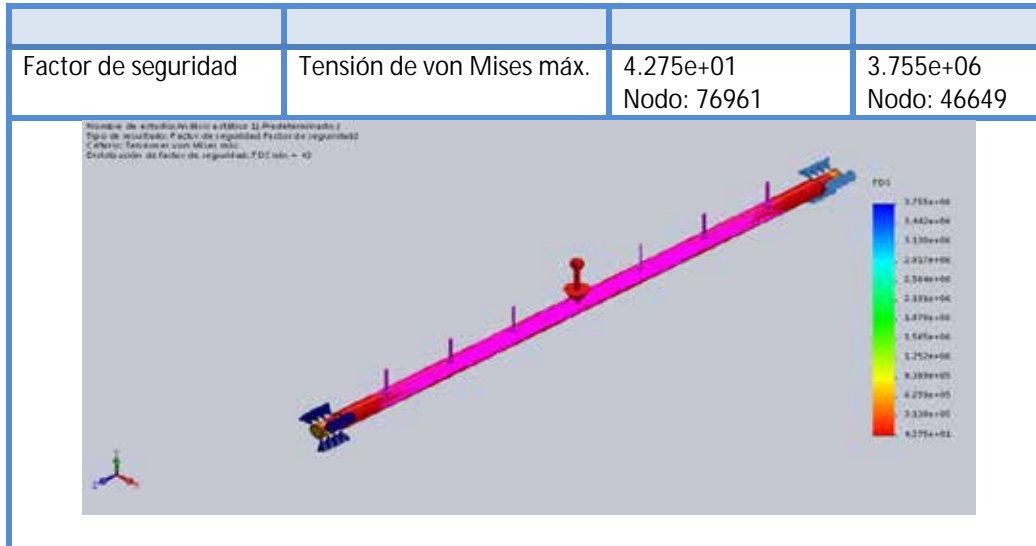


Figura 41: Factor de seguridad del eje
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

Se debe tomar en cuenta que el eje arroja un factor de seguridad muy elevado, sin embargo es lógico ya que está diseñado con un material con resistencia elevada, seleccionado por motivos sanitarios, para proteger las propiedades organolépticas del cacao, además el eje está diseñado con pequeños orificios donde se soldaran las paletas y de esta manera facilitar el ensamble. (Ver figura 42)

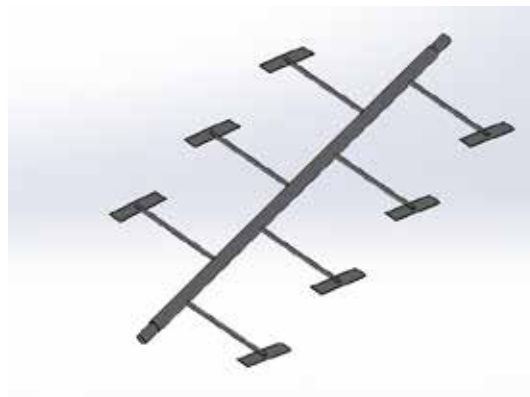


Figura 42: Ensamble del eje y las paletas
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

4.3.3 Diseño de la estructura de soporte

La estructura de soporte está fabricada con un acero ASTM A36, su función no solo será soportar el peso del eje y evitar sus vibraciones sino también soportar el peso de la cámara de secado dándole estabilidad a toda la estructura. Toda la estructura tiene un espesor de 50mm. (Ver figura 43)



Figura 43: Estructura de soporte
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

En la siguiente figura se puede observar el ensamblaje del horno. (Ver figura 44)



Figura 44: Ensamblaje del horno
Fuente: Autodesk SolidWorks (2018)

4.3.4 Selección de los elementos de acople

Selección de la chumacera de pared tipo brida ovalada

Luego de realizar el análisis del eje, se determinó el diámetro mayor y menor del mismo, de manera normalizada para la selección de los elementos de acoples, el horno cuenta con dos chumaceras de pared tipo brida ovalada seleccionada del catálogo N° 2400-IX/S, está fabricada de acero inoxidable AISI 304 ya que se encontrara en l parte interna del horno debe cumplir con las nomas de sanidad ver anexo B.

Selección de la chumacera tipo puente

Para estabilizar el eje a la estructura de soporte se seleccionó una chumacera tipo puente, serie liviana, ya que este elemento se encuentre fuera del horno y no estará en contacto con el cacao, es de acero fundido, seleccionada del catálogo

N° 2400-IX/S, solo se hizo uso de una chumacera en uno de los extremos a su vez este elemento conservara la vida útil del eje, la chumacera tendrá las características mostradas en el anexo, ver anexo C.

En la siguiente tabla se hace un resumen de los resultados obtenidos en el diseño mecánico del dispositivo. (Ver tabla 13)

Tabla 13: Dimensiones y materiales de cada pieza seleccionada en el diseño mecánico para el horno.

Nombre de la pieza	Dimensiones	Material
Cilindro de la cámara	Longitud 1,52m Diámetro 1m Espesor 0,003m	Acero inoxidable AISI 304
Tapas laterales del cilindro	Diámetro 1m Espesor 0.003	Acero inoxidable AISI 304
Puertas de alimentación y descarga	Longitud 1.2m Ancho 0,3m Espesor 0,003 m	Acero inoxidables AISI 304
Dimensiones de la chapa inferior de la paleta	Longitud 270mm Ancho 50mm Espesor 1,5mm	Acero inoxidable AISI 304

Base	Longitud de 1,7m Altura de 1m Espesor de 50mm	Acero ASTM A36
Eje	Longitud de 1,7m Diámetro del eje 0,048m Diámetro menor de 0,040m	Acero inoxidables AISI 304
Chumacera tipo puente	Catálogo	Acero fundido
Chumacera brida ovalada	Catálogo	Acero inoxidable AISI 304

Fuente: Pisellini Marchegiani G, Riera E (2020)

Los planos de construcción se pueden visualizar en el apéndice A

4.3.5 Selección del sistema de transmisión de potencia

Al momento de seleccionar el sistema de transmisión de potencia, se tomó en cuenta que las maquinas secadoras de caca trabajan con velocidades bajas, se recomienda un valor máximo de 6 rpm, ya que el movimiento del grano debe ser lento, para no ocasionar daños en él y mantener la calidad, es por ello que se seleccionó un moto reductor que girara a una velocidad mínima, encontrándose en el mercado diferentes dispositivos con una velocidad de 5,2 rpm, entrando en los parámetros necesarios; sin embrago se necesita saber la potencia transmitida por el eje encargado de remover el cacao para poder seleccionar un moto reductor con dicha velocidad y la potencia necesaria, para ello se realizaron los siguientes cálculos.

Fuerza ejercida por el cacao

Para determinar esta presión se necesita la altura del cacao dentro del horno, como este ocupa el 13,5% del volumen del secador y la altura máxima del secador es de 1m, se supone que la altura máxima del cacao es de 0,138 m, el peso del cacao será:

—

Este valor es la fuerza del cacao ejercida sobre una paleta, pero en el momento más crítico, cuatro paletas están en contacto con el cacao al mismo tiempo, por lo tanto

Fuerza ejercidas por las paletas

Cada paleta genera una fuerza que la potencia del eje debe romper, por lo tanto se debe calcular el momento ejercido por las mismas, y este valor se tomara en cuenta al momento de calcular la potencia total transmitida por el eje.

Potencia total transmitida por el eje

Potencia transmitida por el eje	101,105 W
---------------------------------	-----------

Una vez obtenida la potencia del eje, se seleccionó en el catálogo de motoreductores ACP un motoreductor eléctrico que tuviera una potencia similar o un poco superior a la solicitada por el sistema, ver anexo D.

Potencia del motoreductor seleccionado	Velocidad de giro
140W	5,2 rpm

Para finalizar se debe seleccionar una fuente de poder que alimente tanto al motor eléctrico como a las resistencias.

4.3.6 Selección de fuente de alimentación

Al momento de seleccionar el generador que alimentará tanto a las resistencias, como al motor; se tomó en cuenta que la zona de Borburata es una zona rural, por lo tanto el servicio básico de electricidad es deficiente, es por ello que se consideró un generador de energía eléctrica con un motor de combustión, este generador trabajará con combustible Diesel, ya que tiene múltiples beneficios; como a durabilidad, son más económicos por bajo consumo de combustible, fácil mantenimiento pero deben hacerse de manera recurrente; además se seleccionara un generador con mayor potencia que la necesaria ya que, si se desea en un futuro ampliar la producción, usando varios hornos en serie, este generador puede cumplir con estos requerimientos; el generador fue seleccionado por catálogo (Ver figura 45)



Figura 45: Fuente de alimentación
Fuente: Catálogo Hyundai

3.4 Realizar un análisis económico para demostrar la factibilidad del proceso.

Luego de realizar y cumplir con todos los estudios previos para que el proyecto se lleve a cabo, se debe realizar un estudio de factibilidad para demostrar la viabilidad, es por ello que este estudio debe cumplir con ciertos puntos, como la factibilidad técnica, económica y de tiempo.

3.4.1 Factibilidad técnica

En este punto se evaluará la tecnología, la fuente y disponibilidad de la materia prima para demostrar la factibilidad técnica:

Tecnología

A pesar de cambiar el proceso de un sistema manual a un sistema semiautomatizado y avanzar tecnológicamente, este cambio no implica gran impacto en la mano de obra, ya que el dispositivo es de fácil manejo, no se necesita mano de obra especializada para controlar el proceso, solo al momento de realizar el mantenimiento correspondiente. El dispositivo cuenta con una compuerta de alimentación y una de descarga las cuales se manejan manualmente, además la temperatura del horno y el tiempo será controlado por un sistema donde solo deberá ingresar la temperatura y el tiempo necesario, y por último el recipiente llevará en su parte interna una marca para que el usuario tenga en cuenta el volumen máximo, por lo tanto solo se necesitara un curso de inducción para especificar lo antes mencionado, lo cual no implicará mayor gasto.

Además es un avance tecnológico para la población de Borburata lo cual conlleva a un avance en la producción y mejora del bienestar en la salud del trabajador.

Fuente y disponibilidad de materia prima

Se debe mencionar que la población de Borburata son productores de cacao, es decir tienen a su disposición la materia prima para cumplir con la producción, sin embargo el horno solo se encargara del proceso de secado de cacao ya fermentado, ya que si además se automatiza el proceso de fermentación esto puede llevar a un impacto ambiental, ya que se disminuiría el tiempo de recolecta causa la extinción de la materia prima en un futuro.

3.4.2 Factibilidad de tiempo

Si bien el proceso de secado de cacao de forma natural, es el proceso más utilizado en la actualidad, se debe considerar el factor tiempo; en el secado de forma

natural el proceso se lleva a cabo en un lapso de 15 días aproximadamente, además es un tiempo incierto ya que por los cambios ambientales, este se puede prolongar; en cambio, el proceso de forma artificial disminuiría este tiempo de 15 días a 6 horas por una producción de 500kg de cacao, siendo este un método seguro ya que no depende de los factores ambientales.

3.4.3 Factibilidad económica

Para determinar la factibilidad económica del proyecto, se debe considerar el costo inicial de la maquina en relación a la recuperación del capital, para ello se hizo un estudio en el mercado para determinar el precio de cada uno de los componentes, el cual será reflejado en la tabla 14, demás se solicitó un presupuesto en una empresa regional para la construcción estructural del horno. Ver Anexo E.

Tabla 14: Costo de cada componente del horno

Componente	Costo
Generador	700\$
Motoreductor	300\$
Resistencia	35\$
Estructura del horno	2712,89\$
Sistema de control	500\$
Total	4247,89\$

Fuente: Pisellini Marchegiani G. Riera E. (2020)

A su vez el costo operacional diario del dispositivo incluye el consumo del combustible, según la ficha técnica del generador, el consumo es de 20lt por hora, aproximadamente, esto implica que en una jornada laboral el consumo total seria de 120lt; al costo actual del Diesel, el costo operacional diaria seria COP= 5\$ diarios.

Para demostrar la factibilidad económica se debe estipular los ingresos brutos del proyecto, para ello se investigó el precio de venta de la materia prima, sin

embargo los productores luego del secado del cacao, proceden a molerlo, y el precio de venta del producto es de 700.000 BsS/kg lo que equivale a 10\$ cada kg. En una jornada laboral, se producen 295,7 kg de cacao seco; lo que equivale a 2.957 \$ en un día, esto quiere decir que en aproximadamente 3 días se recupera la inversión inicial y ya se pueden observar las ganancias. En la tabla 15 se podrá comparar la factibilidad del proceso de secado artificial frente al secado natural.

Tabla 15: Comparación de la factibilidad del proceso de secado artificial frente al secado natural

	Secado Natural	Secado Artificial
Tiempo del proceso	500 kg 15 días	500kg en 5.6 horas
Ingreso bruto en 15 días de producción	2.957 \$	44.280 \$
Riesgo de pérdida de la producción	De media a alta	Baja o nula

Fuente: Pisellini Marchegiani G. Riera E (2020)

CONCLUSIONES

1. Luego de la observación directa y de realizar la entrevista a los trabajadores del sector, se pudo concluir que las condiciones son deficientes; no solo a nivel económico, sino que además el proceso resulta complicado para la salud del trabajador, ocasionando enfermedades ergonómicas, a su vez el tiempo del secado es incierto ya que depende de las condiciones climáticas del sector; por lo que en momentos lluviosos se paraliza la producción.

2. El secado de cacao por un proceso natural frente al secado artificial tiene una gran desventaja ya que luego de realizar el estudio térmico, se llegó a la conclusión que se puede disminuir el tiempo de secado de 15 días a 5,6 horas, así como también la temperatura de trabajo debe ser 50°C, con una humedad final del producto del 7%, el calor necesario para el proceso es de 459,05kW, el llenado del horno no debe superar el 15% de su volumen, se concluye el uso de una resistencia eléctrica de 6 kW para proporcionar la fuente de calor necesaria en el proceso, finalmente se concluyo el uso de un aislante térmico de fibra de vidrio por medidas de seguridad.

3. Se concluyó que la velocidad de trabajo es de 5,2 rpm, la velocidad con que deben trabajar los secadores de cacao deben ser bajas, ya que el movimiento del grano debe ser lento para que sea secado con rapidez y no causar daños, ya que una ruptura del grano conllevaría a la pérdida de los sabores característicos del producto, disminuyendo así su calidad

4. La máquina cumplió con las normas sanitarias y estándares de calidad, en lo que se refiere a alimentos, en este caso por ser un producto alimenticio, su construcción se realizó en acero inoxidable AISI 304 la parte que se encuentra en contacto con el producto, además el cacao es un producto delicado que no puede estar en contacto con materiales que puedan causa su contaminación.

5. Para llevar a cabo este proyecto la inversión inicial es de 4247,89\$, gastos que se ven reflejados por la adquisición de cada uno de los elementos que conforman el dispositivo, demostrados y sustentados en el estudio de factibilidad económica.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que las personas que van hacer uso de la maquinaria tengan conocimiento del funcionamiento de la misma, mediante una previa

capacitación para saber cuáles son los parámetros y condiciones ideales a la hora de trabajar con el horno y así obtener un sacado óptimo, así mismo contar con personal especializado en el manejo y control del dispositivo.

2. Se recomienda en un futuro hacer un estudio para el diseño y la utilización de paneles solares siendo una forma innovadora y además factible no solo para la producción sino para el medio ambiente, lo cual representaría una gran ventaja ya que, al ser una zona rural y los servicios básicos ser deficientes, se hizo uso de un generador eléctrico así como también se descartó el uso de gas e intercambiadores de calor para proporcionar el calor necesario ya que el cacao tiende a absorber los olores, deteriorando su aroma y sabor, características fundamentales del producto en el mercado.

3. Para mantener la calidad del producto, se recomienda cumplir con los parámetros estipulados en esta investigación, controlando la temperatura de trabajo así como las especificaciones del llenado del horno, a modo de conservar las propiedades organolépticas del cacao.

4. Se recomienda conocer que la velocidad con que se debe mover el cacao debe ser baja ya que si se mueve a velocidades altas daña el producto ocasionando la ruptura del grano del cacao, perdiendo éste sus propiedades características.

5. Se sugiere seguir los lineamientos de la investigación ya que los materiales utilizados fueron seleccionados para evitar la contaminación del cacao, tomando en cuenta que no basta con ser un producto alimenticio, sino que además es un producto delicado que no puede estar en contacto con otros tipos de metales diferentes a los aceros inoxidable ya que causaría el deterioro del producto final cambiando su sabor.

6. Se propone la ejecución de un proyecto de negocio, organizado y estructurado, con el fin de ampliar la producción e iniciar un plan de exportación del producto ya que el cacao venezolano es uno de los más reconocidos a nivel mundial,

además se recomienda en un futuro construir más hornos conectados en serie, haciendo uso del diseño mostrado en esta investigación.

REFERENCIAS

- Arias, Fidas (1997). [Introducción a la metodología científica](#). (5ª.ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.
- Caballero, C., José, A. (2015). [El cacao en Venezuela](#). [Documento en línea]. Trabajo de grado. Publicado. Universidad Católica del Perú. Perú
- Carolina, Aguilar (2013). [El cacao en Venezuela](#). [Documento en línea]. Disponible: cacaomovil.com/guía/8/contenido/secado/ [Consulta: Agosto 2019, 23].
- Chocolate la macuy (2014). [El cacao en Venezuela](#). [Documento en línea]. Disponible: chocolatemucuy.com/el-cacao-en-la-historia-economica-de-venezuela/ [Consulta: Agosto 2019, 23].
- Jimbo, Y., Cesar, R. y Arboleda, M., Freddy, A. (2016). [El cacao en Venezuela](#). Trabajo de grado. Publicado. Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil, Ecuador.
- Liliana, Elías (2019). [El cacao en Venezuela](#). [Documento en línea]. Disponible: vivaelcacao.com/es/exportación-de-cacao-venezolano-entre-presunta-corrupcion-y-desconocimiento/ [Consulta: Agosto 2019, 24].
- López, Chica y Jaime, Alfredo (2015). [El cacao en Venezuela](#). Trabajo de Grado. Publicado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Mijares, Héctor, y García, Luis (2007

. Guía. Publicado.

Universidad José Antonio Páez (UJAP). Valencia, Venezuela.

Palella, Santa y Martins, Feliberto (2003).

(1ª. ed.). Caracas, Venezuela: FEDUPEL.

Sánchez, A., Elsa, N. (2017

Trabajo de

grado. Publicado. Universidad Nacional De San Martín – Tarapoto, Perú.

UPEL (2016), **Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**, 5ta edición descargado de la web. Fuente digital: <http://www.mediafire.com/file/41f3l8wsg79w7tz/Manual+de+Trabajo+de+Grado+UPEL+5ta+Edc+2016.pdf>

Yunus A., Cengel y Michael A., Boles (2012). Termodinámica. (7ma. Ed.). DF, México:Mexicana.

ANEXOS

Anexo A

Acero Inoxidable - AISI 304 Tubo,
FE227850 Diámetro exterior:15,0 mm, Espesor de pared:2,0 mm,
Diámetro interior:11 mm, Temple:Recocido

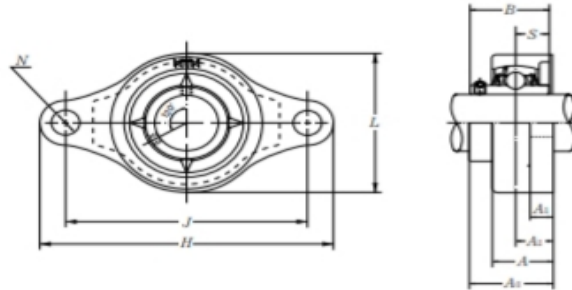
Características del tubo usado para la paleta
 Fuente: Catálogo Goodfellow productos estandarizados

Anexo B

F-UCFM2

NTN

Tipo soporte con brida rómbica (Serie de acero inoxidable)
 Con tornillo de fijación (Prisionero)



Diámetro del eje mm	Número de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno mm
		H	J	A ₂	A ₃	A	N	L	A ₁	B	S	
20	F-UCFM204/LP03	112	90	15	10	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10
25	F-UCFM205/LP03	127	99	16	10	26.5	16	68	35.8	34.1	14.3	M14
30	F-UCFM206/LP03	145	117	18	10	30	16	80	40.2	38.1	15.9	M14
35	F-UCFM207/LP03	158	130	19	12	32	16	90	44.4	42.9	17.5	M14
40	F-UCFM208/LP03	172	144	21	12	35	16	100	51.2	49.2	19	M14
45	F-UCFM209/LP03	180	148	22	13	36	19	108	52.2	49.2	19	M16
50	F-UCFM210/LP03	189	157	22	13	37	19	115	54.6	51.6	19	M16

Observaciones: 1) Esta serie utiliza grasa sólida en los rodamientos como estándar. También hay disponibles chumaceras de acero inoxidable con grasa grado alimenticio o resistente al calor.
 2) La carga dinámica básica C_v de los rodamientos es diferente de los rodamientos fabricados con acero estándar.

Selección de la chumacera de pared tipo brida ovalada

Fuente: Catálogo

N° 2400-IX/S

Anexo C

ASPB2
NTN

Chumacera tipo puente, serie liviana, alojamiento de acero fundido
Con tornillo de fijación (Prisionero)

Diámetro del eje mm pulg.	Número de la chumacera	Dimensiones nominales											Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
40	ASPB208	50.8	184	140	37	14	22	18	102	52	38	9	M12	AS208											
1 1/2	ASPB208-108	2	7 1/4	5 1/2	1 1/16	3/4	7/8	3/16	4 1/16	2 1/16	1.4961	0.354	1/2	AS208-108											
1 1/8	ASPB208-109													AS208-109											

Observaciones: 1) Si es necesario el tipo re lubricante, por favor ordénalo con el sufijo "DT".

Selección de la chumacera ubicada en la estructura de soporte

Fuente: Catálogo

N° 2400-IX/S

Anexo D

Motoriduttori CC combinati
DC Double reduction gearmotors

Dati tecnici per servizio S2

Technical data for S2 duty

Dati tecnici per servizio S2							Technical data for S2 duty							
P ₁ [W]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	sf	i		Versione motore Motor version	P ₁ [W]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	sf	i		Versione motore Motor version	
100							140							
(3000 min ⁻¹)	44.4	14	1.8	67.5		070/026/521	120/240	(3000 min ⁻¹)	44.4	20	1.3	67.5	100/026/521	120/240/24E
	29.6	21	1.2	101.3					29.6	25	1.0	101.3		
	22.2	25	1.0	135.0					22.2	37	1.1	135.0		
	14.8	25	1.0	202.5					14.8	25	1.0	270.0		
	11.1	25	1.0	270.0					29.6	29	1.4	101.3	100/026/621	120/240/24E
									22.2	37	1.1	135.0		
	10.4	25	1.0	289.3		070/026/522	120/240		14.8	40	1.0	202.5		
	8.9	26	1.0	337.5		070/026/621	120/240		44.4	20	4.0	67.5	100/030/811	120/240/24E
	7.4	25	1.0	405					29.6	29	2.7	101.3		
									22.2	38	2.1	135.0		
	6.9	25	1.0	434		070/026/522	120/240		14.8	52	1.6	202.5		
	5.2	25	1.0	579					11.1	65	1.2	270.0		
	3.5	25	1.0	868					10.4	80	1.5	289.3	100/030/812	120/240/24E
	2.6	25	1.0	1157					8.9	75	1.1	337.5	100/030/811	120/240/24E
	2.1	25	1.0	1447					7.4	80	1.0	405.0		
	1.7	25	1.0	1736					6.9	120	1.0	434.0	100/030/812	120/240/24E
	1.4	25	1.0	2098					5.2	120	1.0	578.6		
	1.1	25	1.0	2734										
	44.4	14	2.8	67.5		070/026/621	120/240							
	29.6	21	1.9	101.3										

Catálogo de motoreductores

Fuente: Catálogo de motoreductores ACP

Anexo E



Fabricación y montaje de estructuras metálicas
industriales y todo lo relacionado con el ramo.

San Diego, 20 de febrero de 2020

Atención: Sr. Eduardo Riera


ASUNTO: Cotización de horno para cacao en acero inoxidable 304 con soportes en acero al carbono. Según planos del cliente.

SOLICITUD DE PRESUPUESTO N°: 01-2002219



ITEM	DESCRIPCIÓN	FORMATO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Material y fabricación horno para cacao					
1	Lamina A.I. 304 2B 1,22Mx2,44Xx2mm	PZA	5	\$ 350,00	\$ 1.050,00
2	Platina A.I. 304 2"x1/8"	PZA	1	\$ 45,00	\$ 45,00
3	Sera A.I. 2"x2M	PZA	1	\$ 120,00	\$ 120,00
4	Sera A.I. 1/2"x5M	PZA	1	\$ 40,00	\$ 40,00
5	Tubo Cuadrado acero al carbono 50x50x2,5mm	PZA	2	\$ 30,00	\$ 60,00
6	Chimeneas	PZA	2	\$ 12,00	\$ 24,00
7	Tapete de gis	PZA	1	\$ 20,00	\$ 20,00
8	Soldadura TIG A.I.	UL	1	\$ 250,00	\$ 250,00
9	Fabricación (Calefacción, corte, consumibles, mano de obra, soldadura)	UL	1	\$ 170,00	\$ 170,00
10	OTROS	N/A	1	\$ 20,00	\$ 20,00
CÓSTO					\$ 1.799,00
Imposto de la empresa 30%					\$ 539,70
SUB-TOTAL					\$ 2.338,70
IVA 16%					\$ 374,29
TOTAL					\$ 2.712,99

NOTA: no incluye motor ni sistema de transmisión

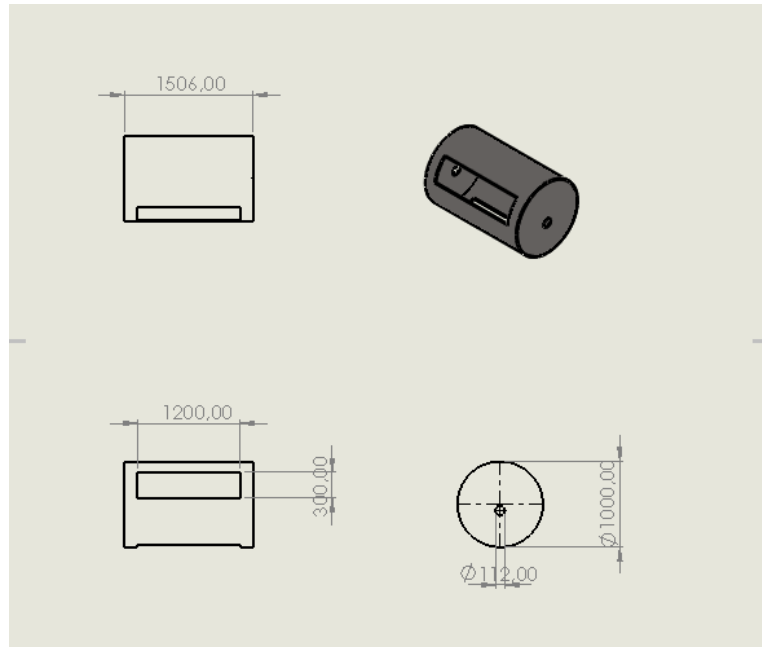

 Av. Romulo Gallegos, Local Galpon 201, N° 37, Sector Campo Solo, Nave 0, San Diego, Edo. Carabobo
 Telefonos: 0241 - 9956571 / 0416 - 6416256
 e-mail: metalbrica@hotmail.com

Presupuesto de la estructura del horno
Fuente: Metalbric.a.

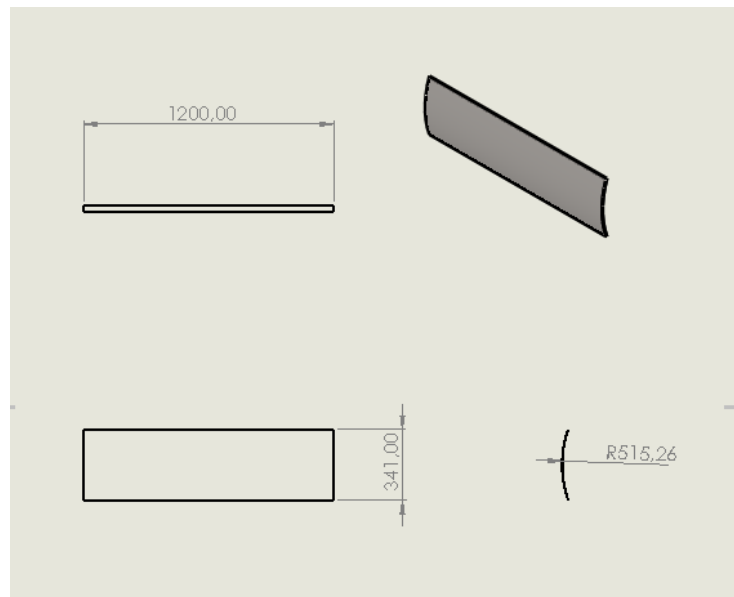
APÉNDICE

Apéndice A

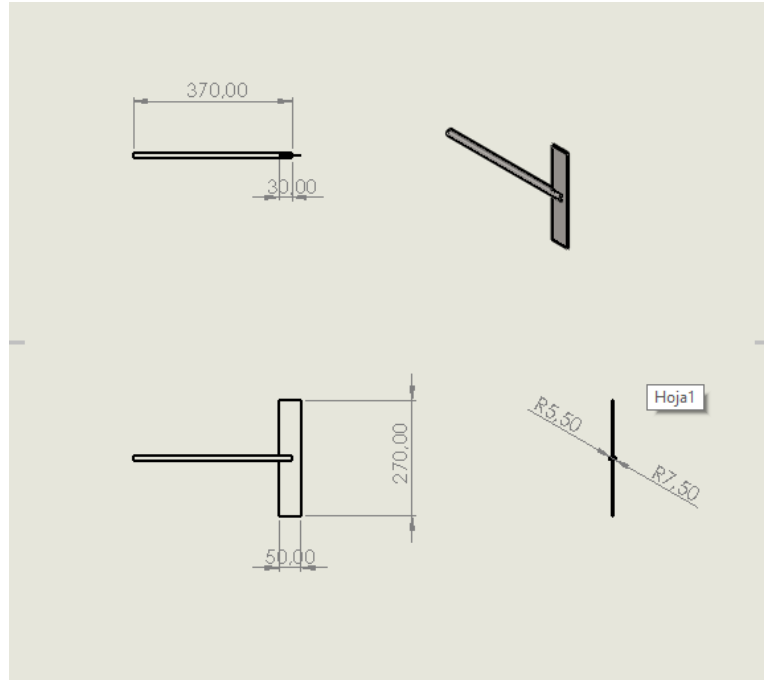
Plano del horno



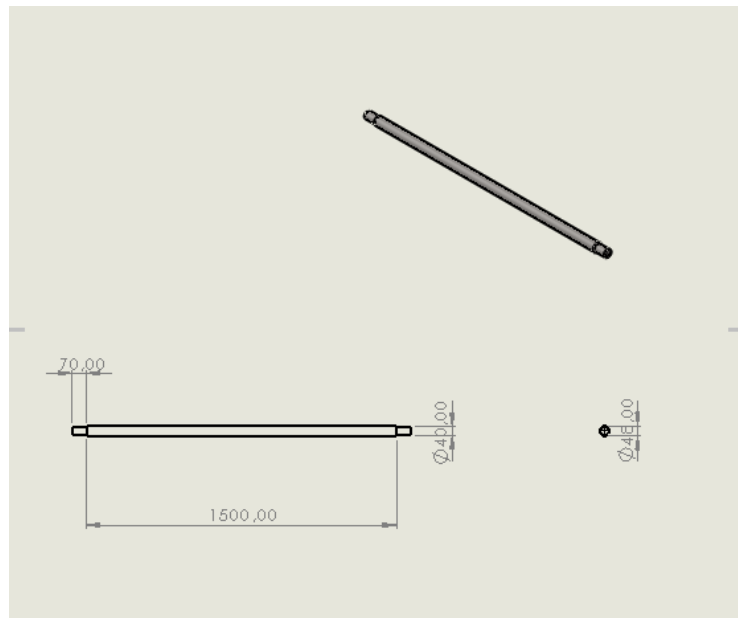
Tapa horno



Paleta



Eje



Base

