



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Campus Arturo Ruíz Mora**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Tesis previa a la obtención del título de  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR TIPO ROTATORIO PARA  
CACAO”

Estudiante:  
**TITO EDISON MERCHÁN BENENLA**

Director de tesis  
**ING. JUAN CRESPÍN**

**Santo Domingo de los Táchilas – Ecuador**  
**Febrero 21 del 2011**

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR TIPO ROTATORIO PARA  
CACAO”

**APROBADO**

Ing. Juan Crespín

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Daniel Anzúles

\_\_\_\_\_

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Alejandro Bermúdez

\_\_\_\_\_

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Wiston Morales

\_\_\_\_\_

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**Santo Domingo.....de.....del 2011**

<b>Nombre:</b>	TITO EDISON MERCHÁN BENENLAULA
<b>Institución:</b>	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
<b>Título de Tesis :</b>	“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR TIPO ROTATORIO PARA CACAO”
<b>Fecha:</b>	Julio del 2009 - Febrero del 2011

Del contenido del presente trabajo  
se responsabiliza el autor.

Tito Merchán Benenaula

**Santo Domingo.....de.....del 2011**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**CAMPUS SANTO DOMINGO**

**ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**  
**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo 28 de agosto del 2010

Ingeniero

Daniel Anzúles

COORDINADOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

Presente

Mediante el presente, informo a usted. Que el señor Merchán Benenaula Tito Edison, ha cumplido con los requisitos pertinentes para la elaboración del proyecto de grado que lleva el título “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR TIPO ROTATORIO PARA CACAO”, por lo tanto, la tesis esta lista para ser entregada y publicada.

Particular que le comunico para los fines consiguiente.

Atentamente,

---

Ing. Juan Crespín

**DIRECTOR DE TESIS**



## DEDICATORIA

Cuando inicie este trabajo pensé en todas las situaciones que he tenido en mi vida y al recordar me di cuenta que estas he logrado superarlas con ayuda. Si así es pero esta ayuda, es una fuerza interna que actúa como algo mágico, esta es la que resuelve los problemas cuando todo está a punto de quebrarse, no sabes cómo pero encontraste solución. Esta se llama DIOS por eso todo este trabajo lo dedico a esta fuerza suprema de la justicia.

Además a todas las personas que hicieron posible este trabajo a María Eugenia quien dio todo de su vida, a mi hija Mishel que es lo que más quiero y son la razón de seguir adelante, a mis padres José y Lucina, que a pesar de todo siempre estuvieron ahí y toda mi familia, hermanos y amigos por su ayuda incondicional. Gracias!!

## AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios por darme todo lo que necesito a través de las personas que tengo a mi alrededor, si a todos y si no los nombro espero que me disculpen, a los que me dijeron si, gracias y a los que me dijeron no, también gracias. Y quedo en deuda con todos por el resto de los tiempos por que gracias a todos ustedes se hizo posible este trabajo

Además de manera especial agradezco a

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Ing. Daniel Anzúles director de la escuela de Ingeniería agroindustrial

Ing. Juan Crespín director de tesis.

A mis catedráticos

A todo el personal de danés

A todos mis compañeros de aula que tanto me ayudaron

Por todo lo que me dieron de todo corazón infinitamente gracias.

## ÍNDICE

Portada	i
Hoja de Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal	ii
Hoja de responsabilidad del autor	iii
Informe de aprobación del director del plan de titulación	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Tabla de Contenido	vii
Resúmen	xiii
Summary	xiv

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	1
1.1.1	Antecedentes Históricos	1
1.1.2	Antecedentes Científicos	1
1.1.3	Antecedentes Prácticos	2
1.1.4	Importancia del estudio	3
1.1.5	Situación actual del tema de investigación	3
1.2.	Limitaciones del estudio	4
1.3.	Alcance del trabajo	5
1.4	Formulación del problema	5
1.5.	Objeto del estudio	5
1.6	Objetivos	5
1.6.1	General	5
1.6.2	Específicos	5
1.7	Justificación del estudio	6
1.8	Variables	7
1.8.1	Hipótesis alternativa:	7
1.8.2	Hipótesis nula:	7

### CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA

2.1	El cacao	8
2.1.1	Morfología	10
2.1.2	Variedades del cacao	11
2.2.2.1	Criollos	11

2.1.2.2	Forasteros	11
2.1.2.3	Trinitario	12
2.2	Cacaos mas buscados	12
2.3	La composición nutritiva del cacao	12
2.4	Fermentación del cacao	13
2.4.1	Tipos de recipientes fermentadores	15
2.4.2	Proceso de fermentación	15
2.5	Secado	16
2.6	Tipos de secadores	17
2.6.1	Secado natural	17
2.6.2	Secador rotatorio	18
2.7	Materiales y partes de los secadores	21
2.7.1	Hierro	21
2.7.2	Carcasa	21
2.7.3	Soporte móvil	22
2.7.4	Tolva de carga y descarga	22
2.7.5	Motor	22
2.7.6	Tubería de vapor	23
2.7.7	Cilindros	23
2.7.8	Ducto de aire	23
2.7.9	Perilla de regulacion de temperatura	24
2.7.10	Trampa termodinámica	24
2.7.11	Extractor de humedad	25
2.7.12	Aislantes termicos	26
2.7.13	Válvulas de vapor selenoide	26
2.7.14	Rodamientos	27
2.7.15	Ejes	28
2.7.16	Termocupla	28
2.7.17	Interruptor	28
2.7.18	Ventilador (extractor)	28
2.7.19	Relé	28
2.8	Condiciones para almacenar cacao seco	29
2.9	Fórmulas secador rotatorio	29
2.9.1	Psicrometría	30
2.9.2	El proceso de convección	30
2.9.3	Eficiencia termica del secador	31

### **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

3.1.	Tipo de investigacion	32
3.1.1.	Descriptiva	32
3.1.2.	No observacional	32
3.1.3.	Relacional	32
3.2	Métodos de investigacion	32
3.2.1	Inductivo	32
3.3	Técnicas de investigación	33
3.3.1	Fuentes primarias	33
3.3.2	Fuentes secundarias	33
3.4	Obtencion de pulpa seca de cacao	33
3.4.1	Materiales y equipos para el secado de cacao	33
3.4.2	Materia prima	34
3.4.3	Diagrama de flujo	35
3.4.4	Descripcion del diagrama de flujo	36
3.4.4.1	Recepción	36
3.4.4.2	Limpieza	36
3.4.4.3	Pesado	36
3.4.4.4	Cortado	36
3.4.4.5	Despulpado	37
3.4.4.6	Fermentación	37
3.4.4.7	Pesado	37
3.4.4.8	Secado	37
3.4.4.9	Llenado	37
3.5	Balance de materia de laboratorio del secado de cacao	38
3.6	Balance de energía de laboratorio del secado de cacao	41
3.7	Determinacion de la curva de secado	50

### **CAPÍTULO IV DISEÑO DEL SECADOR**

4.1	Parámetros	56
4.2	Balance de materia del secado de cacao	57
4.2.1	Porcentaje de rendimiento de masa en mazorca	59
4.3	Balance de energía	60
4.4	Determinacion del primer cilindro	63
4.5	Determinacion del segundo cilindro	64

4.6	Determinación del tercer cilindro	65
4.7	Construcción del secador	71
4.7.1	Armado del equipo	71
4.8	Puesta en marcha del equipo	72
4.9	Costo del secado	77
4.10	Análisis de la puesta en marcha	78
4.11	Manual de operación	79
4.12	Mantenimiento	80

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	<b>Conclusiones</b>	81
5.2	<b>Recomendaciones</b>	82

Bibliografía	84
Planos	66
Anexos	88
Tablas	95
Análisis bromatológicos	102

### **ÍNDICE DE CUADROS**

cuadro#1	Variable dependiente	7
cuadro#2	Clasificación del cacao	9
cuadro#3	Composición química del cacao	12
cuadro#4	Composición química del cacao en baba	13
cuadro#5	Datos típicos de rendimiento de secadores rotatorios	21
cuadro#6	Composición química del acero inoxidable	23
cuadro#7	Datos experimentales de la curva de secado	50
cuadro#8	Perdida de humedad	51
cuadro#9	Contenido de humedad	52
cuadro#10	Velocidad de secado	53
cuadro#11	Puntos críticos de la curva de secado	55
cuadro#12	Costo del equipo	71
cuadro#13	tabla comparativa entre el secado natural y artificial	78

## ÍNDICE DE DE FOTOS

foto #1	Planta de cacao	8
foto #2	Cacao fermentado en saquillos	14
foto #3	Fermentacion en caja de madera	16
foto #4	Mala fermentacion	17
foto #5	Buena fermentacion	17
foto #6	Cacao secandose en el piso	18

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico #1	Caracteristicas del cacao	10
Grafico #2	Secador rotatorio	19
Grafico #3	Configuración de los componentes de secadores rotatorios	20
Grafico #4	Trampa termodinamica de vapor	24
Grafico #5	Valvula selenoide	27
Grafico #6	Curva de secado	54
Grafico #7	Area bajo la curva	55
Grafico #8	Primer cilindro	63
Grafico #9	Segundo cilindro	64
Grafico #10	Tercer cilindro	65

## RESÚMEN

En este trabajo se logro determinar que en nuestro medio una secadora para cacao es vital importancia por las condiciones climatológicas de la zona además ayuda a la producción de cacao por que la demanda crece, ya que somos el país de mayor exportación de cacao fino de aroma en el mundo.

Durante el diseño se realizo un análisis del cacao por ser este un producto en las que sus compuestos aromáticos son los que le dan las características especiales y costos, razón por la cual se determino que el tipo de secado mas óptimo es el de convección forzada que puede eliminar la humedad y conservar sus compuestos aromáticos.

Los balances de materia y energía se determinaron para la construcción del equipo, en base a esto se realiza el dimensionamiento de la maquina y la determinación de los materiales a usar para la fabricación.

En la construcción del equipo, el cacao por ser un producto con una humedad inicial difícil de eliminar por su textura física tipo baba. Se determino utilizar acero inoxidable 304 que estuvo expuesto a una temperatura de 70 grados centígrados por ocho horas, además se determino que el secador debe ser rotatorio con agujeros tipo alargados para evitar que este se adhiera a las paredes.

Como fuente de energía térmica se utiliza vapor saturado, energía que esta imitando al secado natural que es una de la forma en donde se consigue cacao con mejores cualidades organolépticas.

Se dieron problemas al momento de la construcción, por no tener la mano de obra calificada que se debía utilizar en la construcción del equipo.

En la puesta en marcha se determino que los parámetros establecidos eran los correctos tanto del tiempo como la temperatura pero con un solo tipo de fermentación que es el de 100 a 120 horas fuera de la mazorca.



Se cumplió con todos los objetivos propuestos con la ayuda de todas las personas, que estuvieron cercanas a este trabajo, tanto en el diseño, e la construcción y la puesta en marcha.

## SUMMARY

En este trabajo se logro determinar que en nuestro medio una secadora para cacao es vital importancia por las condiciones climatológicas de la zona además ayuda a la producción de cacao por que la demanda crece, ya que somos el país de mayor exportación de cacao fino de aroma en el mundo.

Durante el diseño se realizo un análisis del cacao por ser este un producto en las que sus compuestos aromáticos son los que le dan las características especiales y costos, razón por la cual se determino que el tipo de secado mas óptimo es el de convección forzada que puede eliminar la humedad y conservar sus compuestos aromáticos.

Los balances de materia y energía se determinaron para la construcción del equipo, en base a esto se realiza el dimensionamiento de la maquina y la determinación de los materiales a usar para la fabricación.

En la construcción del equipo, el cacao por ser un producto con una humedad inicial difícil de eliminar por su textura física tipo baba. Se determino utilizar acero inoxidable 304 que estuvo expuesto a una temperatura de 70 grados centígrados por ocho horas, además se determino que el secador debe ser rotatorio con agujeros tipo alargados para evitar que este se adhiera a las paredes.

Como fuente de energía térmica se utiliza vapor saturado, energía que esta imitando al secado natural que es una de la forma en donde se consigue cacao con mejores cualidades organolépticas.

Se dieron problemas al momento de la construcción, por no tener la mano de obra calificada que se debía utilizar en la construcción del equipo.

En la puesta en marcha se determino que los parámetros establecidos eran los correctos tanto del tiempo como la temperatura pero con un solo tipo de fermentación que es el de 100 a 120 horas fuera de la mazorca.

Se cumplió con todos los objetivos propuestos con la ayuda de todas las personas, que estuvieron cercanas a este trabajo, tanto en el diseño, e la construcción y la puesta en marcha.

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION.**

#### **1.1. Antecedentes.**

##### **1.1.1. Antecedentes Históricos.**

El secado es una de las formas de conservación más antiguas del ser humano, por lo que en la historia se puede encontrar, uno de los sitios donde se usaba esto, fue en la época de los egipcios, en el año 30 antes de Cristo, los cuales empezaron a secar el pescado y después a salarlo para poder mantenerlo, esto los llevo a seguir trabajando, hasta que iniciaron con los granos en el que usaban el secador general y efectivo de esa época que era el sol, sin embargo poco a poco fueron mejorando las técnicas de secado y como hoy los problemas del secado natural son los mismos, la falta de sol y el exceso de lluvias siempre han sido un gran problema en el secado, no solo del secado sino de otros granos como no se puede ir en contra del clima, es difícil operar en días así, lo que dejaba a mas de este un ambiente con un grado de humedad muy alto, es por esto que se fueron desarrollando los secadores mecánicos o los industriales, los mismos que al igual que los antiguos tienen el mismo objetivo que es el de eliminar el agua que presentan los productos para preservarlos.

##### **1.1.2 Antecedentes científicos.**

En tiempos pasados el secado era muy necesario para los productos, motivo por el cual se fueron desarrollando técnicas de secado, pero por algunas situaciones entre las cuales las climáticas no se podía secar de forma natural y por el crecimiento de la gran demanda de productos secos era necesario tener mayor cantidad de producto, por tal motivo se fueron desarrollando los secadores mecánicos, los cuales tiene como principal objetivo, bajar la

concentración de agua hasta cuando el producto lo necesite. Para aumentar la productividad y la preservación del alimento, además se facilita su industrialización, los secadores son generalmente a base de aire caliente generado por otro tipo de maquinas como son los calderos, los sistemas con gas entre otros además existen los secadores por combustión de diesel, kerex los cuales utilizan cámaras de combustión para evitar la contaminación directa con el producto. El método de secado industrial es aceptable en la actualidad, pero se debe tomar en cuenta sus sistemas de operación por lo que pueden ser contaminantes y su costo es manejable, pero si es más costoso con respecto al secado natural. Desde el punto de análisis mecánico de manejo operativo tiene mayor rendimiento en producción de granos secos por lo que en la actualidad los secadores mecánicos van en gran aumento por el excesivo crecimiento de la demanda en productos secos.

### **1.1.3 Antecedentes Prácticos.**

Las plantas de secados industriales de nuestro país, en los últimos años se han ido desarrollando de manera muy rápida, pero con poco análisis del secado y tipo de secado que necesita cada producto, esta afirmación la hago por lo que he podido conocer a través de las visitas que he realizado a diferentes secadoras dentro de la provincia y en otras. Además por la falta de análisis, se ha ido deteriorando las características organolépticas del cacao, por lo que es necesario implementar sistemas de secado tomando en cuenta todas las condiciones que puedan afectar las características, dentro de estas condiciones se encuentran condiciones climatológicas de cada zona. Materiales del secador tipos de secador su funcionamiento su rendimiento y sobre todo su eficiencia, además hay que tomar en cuenta las diferentes variedades de cacao que existen. En el Ecuador existen alrededor de unas treinta empresas dedicadas a la industrialización del cacao las cuales no son suficientes para procesar toda la producción ni satisfacer el mercado, porque existe 405.000 has. en producción, media hasta el 2008, y en nuestra zona en los últimos dos años se ha incrementado en un treinta por ciento los créditos

para las plantaciones de cacao, además los sistemas de secado de cacao no son óptimos son construidos sin planificación técnica, sin tomar en cuenta que existe un crecimiento acelerado de plantaciones, por lo que se necesita un secador industrial con todos los parámetros necesarios para satisfacer el mercado del cacao.

#### **1.1.4 Importancia Práctica del estudio.**

Es importante porque el cultivo de cacao es uno de los más rentables a nivel del país y especialmente de nuestra provincia, además el Ecuador es el país que tiene la mayor producción mundial de cacao y de igual forma su aceptación en el mercado por tener el cacao fino de mejor aroma en el mundo.

Por esta razón, esta investigación, es fundamental porque ayudara al desarrollo del productor, para aumentar la producción de cacao seco, porque la demanda va en aumento y el secador tipo túnel es un equipo fundamental, por los parámetros que se toman en cuenta para construir este equipo, sin degradar al producto y obteniendo ahorro de tiempo, por lo tal, aumenta el ingreso económico y mejora el desarrollo de vida socioeconómico del agricultor.

#### **1.1.4. Situación actual del tema a investigar.**

A nivel local la investigación es baja por que no existen plantas secadoras de cacao, por lo que el estudios de los parámetros necesario como tiempo y temperatura que es lo fundamental para el secador, no se los puede conseguir y además la humedad relativa es diferente en cada zona hay que realizar los análisis en esta, para poder tener un producto de calidad y optimizar recursos, a nivel nacional se está desarrollando a gran escala porque la demanda mundial es muy alta. Aquí más bien en nuestra zona se basan en la experiencia de su trabajo del agricultor que es el secado al sol natural, a nivel de la universidad en la escuela de agroindustrias de la universidad tecnológica equinoccial no existe estudio alguno, ni equipo tipo didáctico en el que se

pueda secar el cacao de forma mecánica por lo tal la situación que presenta este tema es baja.

## **1.2. Limitaciones del estudio**

Las limitaciones que se presentan en esta investigación son mas apegadas a los materiales de construcción, puntualizando un ejemplo es que se debe trabajar con acero inoxidable grado alimenticio y en nuestra provincia no existe, se lo debe traer de otro lado no hay distribuidores de este material. Por otro lado talleres o industrias dedicadas a la fabricación de secadoras es casi nula .por lo tanto las dimensiones para el secador y los parámetros para secar se los debe obtener de forma experimental y además no existen muchas secadoras de cacao para realizar practicas o tomar datos y en las pocas que hay es bastante difícil su acceso por parte de sus dueños. Que se niegan a permitir tomar datos, aduciendo que existiría fuga de tecnología de forma que las limitaciones son difíciles. Dentro de estas limitaciones tenemos la dificultad en conseguir los materiales indicados que nos ayudan con la transmisión de calor y conocer su velocidad de transferencia de calor a nivel practico. Otra limitación es el factor económico ya que cuando compras los materiales si los calculas mal y no te sirven no hay devolución por lo que implica costos y sobre todo tiempo. La variación de las condiciones climáticas de todo el año, implica que el equipo tenga calibración de temperatura y tiempo. Esta es otra limitación por lo que el equipo tiene que tener calibración de algunos parámetros como temperatura tiempo entre otros y para esto debemos instalar sistemas de mayor tecnología en el equipo y también es costos. Eso entre algunas que hemos de seguir encontrando durante el desarrollo de esta tesis.

## **1.3. Alcance del trabajo.**

Satisfacer la necesidad que existe en el mercado para obtener una Pepa de cacao seca, ya que a nivel local independiente seria de mucha ayuda y la implementación de este equipo tipo didáctico en el galpón agroindustrial para

ayuda de los estudiantes en el proceso del secado. Ayudaría al desarrollo de nuevos productos en cacao y mejores secadores.

#### **1.4. Formulación del problema.**

Estará influenciando el secador tipo rotatorio, en la calidad organoléptica y bromatológica del cacao.

#### **1.5. Objeto de estudio.**

En esta investigación se tiene por objeto la evaluación del funcionamiento del secador didáctico tipo rotatorio para cacao.

#### **1.6 Objetivos.**

##### **1.6.1. Objetivo general.**

Diseñar y construir un secador tipo rotatorio para cacao, que permita obtener un producto, con las características óptimas para la industrialización y exportación.

##### **1.6.2. Objetivo específico.**

- 1.- Establecer las condiciones básicas de los parámetros de transmisión de calor del secado.
- 2.- Diseñar el secador de capacidad piloto, de acuerdo a los parámetros óptimos establecidos.
- 3.- Construir el secador tipo rotatorio.
- 4.- Evaluar la eficiencia del secador.



### **1.7. Justificación del estudio.**

En base a que en la actualidad el Ecuador es el mayor productor a nivel mundial de cacao fino de aroma y la proyección que se tiene de la producción es favorable, la cual va en aumento. Además el desarrollo agroindustrial en nuestro medio avanza de una forma acelerada en los últimos tiempos, por ello es necesaria esta investigación, en la cual se va a desarrollar una nueva alternativa de secado de las habas de cacao, con la finalidad de que el producto mantenga los parámetros físicos y organolépticos que se requieren para su industrialización y exportación, con la optimización de recursos, independiente de las condiciones ambientales, que es uno de los problemas más perjudiciales en nuestro medio para el secado del cacao.

Esto implica que el productor va a obtener mayor productividad y mejor aprovechamiento de la fruta, porque además de secado estamos hablando de preservación, lo que alarga la vida útil del producto, aportando a mejorar el nivel socio económico e industrial del productor.

En la actualidad en este medio existes pocos secadores mecánicos destinados para este objetivo, pero no tienen control técnico, ni tecnología adecuada, la mayoría utilizan combustible de forma directa evadiendo las normas alimenticias y legales de la industria , por lo que su uso no es muy adecuado. La falta de investigación de los requisitos que necesita el cacao para secarse han causado que el productor siga usando el mismo método que es el natural, sin embargo, se toma como referencia y en base a estas observaciones he tomado la determinación realizar el diseño e implementación de un secador tipo túnel que favorezca al desarrollo sustentable del cacao.

## 1.8. Variables.

### 1.8.1. Variable independiente.

Diseño y construcción de un secador tipo rotatorio para cacao.

### 1.8.2. Variable dependiente.

#### Cuadro#1

Variables dependientes

<b>Variable</b>	<b>Método</b>	<b>Indicador</b>
Humedad	Análisis bromatológico	Porcentaje.
Olor	Encuesta	Ponderación.
Color	Encuesta	Ponderación.

Fuente: TITO MERCHAN.

## CAPITULO II

### MARCO DE REFERENCIA:

#### 2.1 El Cacao.

##### Foto N°1

##### Planta de cacao.



Fuente: Merchán Tito/Finca San Ángel/2010.

El cacao con su nombre científico Theobroma y en especial el ecuatoriano es el mejor del mundo por su aroma y sabor esto gracias a que producimos cacao fino de aroma. En la actualidad ocupa el tercer lugar de cultivo, después del plátano y las flores y cada año aumenta su cultivo,

En nuestro país se lo empieza a cultivar desde la época colonial y desde aquella época se ha convertido es uno de los principales cultivos, además por ser de poca inversión fácil mantenimiento y por su característica natural de resistencia a las plagas y enfermedades, avanza su producción a pasos acelerados. En el 2005 se dio una producción de 115000 toneladas con un total de ventas de 120 millones de dólares por tal razón apuntala una buena economía para los pequeños agricultores<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Pedro Ramírez, GTZ-Programa GESOREN.

Involucra cerca de 100.000 familias y en el 2008 la producción alcanzo 117.000 toneladas métricas, dando un valor de 309 millones de dólares aproximados. En nuestra zona en los últimos años la producción va en aumento tomando en consideración que somos los mayores productores de cacao fino de aroma con una producción del 59% del total de la producción anual para el año del 2005.

La demanda para su industrialización aumenta por ser un producto con excelente calidad aromática es por eso que los países europeos requieren para producir los mejores chocolates del mundo. Dentro de los países que industrializan al cacao en chocolates tenemos Alemania Bélgica entre otros y EEUU. Con menor producción<sup>2</sup>.

**Cuadro#2.**  
**Clasificación del cacao**

Clasificación científica	
Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Dilleniidae
Orden:	Malvales
Familia:	Malvaceae
Subfamilia:	Byttnerioideae
Tribu:	Theobromeae
Género:	<i>Theobroma</i>
Especie:	<b><i>T. cacao</i></b>
Nombre binomial	
<b><i>Theobroma cacao</i></b>	
L.	

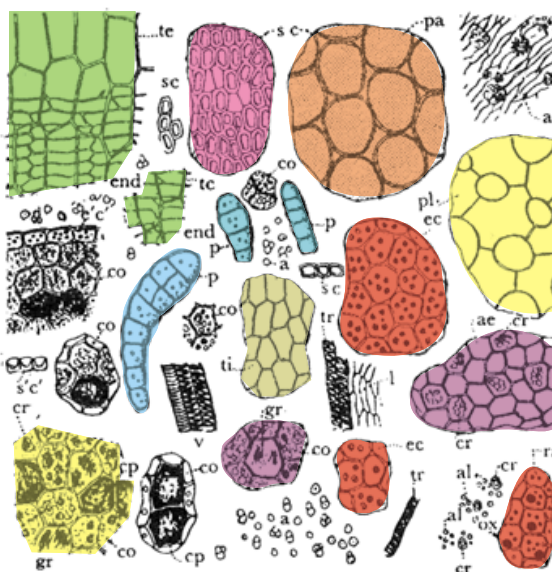
Fuente <http://es.wikipedia.org/wiki/Cacao>

<sup>2</sup> INIAP/Ing. Nely Paredes. Estación experimental central de la amazonía/Manual de cultivo de cacao para la amazonía ecuatoriana.

### 2.1.1 Morfología.

Se ha determinado su cosecha que es el primer y el tercer trimestre del año calendario, con frutos de forma elíptica de porte aproximado 19cm de largo y 9,69cm de ancho, intensamente rugoso con una cáscara dura de coloración amarilla. Numero de semillas por fruto 39 largos de la semilla 2,39 de largo y 1,24 cm de ancho y de forma ovalada, con coloración de los cotiledones color pardo o morado oscuro. Pueden auto fecundarse con su mismo polen y además es inter compatible es decir que puede fecundarse con el polen de otros clones de cacao<sup>3</sup>.

**Grafico N°1**  
**Características microscópicas del cacao**



**Fuente:** Kirk, Ronald S/ Composición Química de alimentos Pearson/ 2da edición México 2002.

- a = Granos de almidón
- ae = Capa externa del endospermo.
- ai = capa interna del endospermo.
- al = Granos de aleurona
- co = Cotiledón
- cp = Células pigmentadas que contienen rojo de cacao
- cr = cristales de grasa.
- ec = epidermis del
- e'c = Epidermis del cotiledón, vista superficial.

<sup>3</sup>://mail.iniap-ecuador.gov.ec/isis/view\_detail.php?mf=208&qtype=search&dbinfo=FICHAS&words=CACAO

**end** = Epidermis interna del pericarpio.  
**gr** = Cristales de grasa.  
**l** = Liber de haces fibrovasculares.  
**ox** = Cristales de oxalato de calcio.  
**p** = Vellos pluricelulares.  
**pa, pl** = Parénquima del recubrimiento de la semilla, vista superficial  
**ra** = Células del radículo.  
**sc** = Capa esclerentimatososa del recubrimiento de la semilla, vista superficial.  
**s'c'** = Capa esclerenquimatososa del recubrimiento de la semilla, de perfil.  
**te** = Epidermis externa del recubrimiento de la semilla a la cual se adhiere la epidermis interna del pericarpio (extremo)  
**ti** = Epidermis interna del recubrimiento de la semilla.  
**tr,v** = Vasos del haz fibrovascular

## 2.1.2 Variedades Del Cacao.

En esta investigación solo se va a tomar como análisis tres grandes variedades de cacao como son las siguientes: Criollo, forastero y trinitario.

### 2.1.2.1 Criollos.

Esta variedad es la que generalmente se la conoce como la común, básicamente son las plantaciones más antiguas que se iniciaron en América por el siglo XVII. Cultivadas en América central y en parte de Venezuela, también la reencontramos en Ecuador, Nicaragua, Guatemala y en Sri Lanka, este tipo de cacao es considerado como el rey de todos, por su inigualable aroma que presenta, pero el único problema que se tiene es que no es resistente a las enfermedades por tal razón solo el 5% de la producción mundial es de cacao criollo, a través del tiempo ha venido decreciendo su producción por su inestabilidad en cuanto a las enfermedades.

Las ventajas que presenta es que su aroma es única en el mundo y bastante aceptada y aceptada para la fabricación de chocolates.

### 2.1.2.2 Forastero.

Este tipo de cacao es de casi igual características organolépticas que el criollo, lo que le da mayor aceptación es la resistencia que presenta con las plagas y enfermedades y este es cultivado más en zonas montañosas sus características son amargura fuerte y poca aroma, se la cultiva en la amazonía, y se lo utiliza en la fabricación de chocolates poco corrientes.

### 2.1.2.3 Trinitario.

Esta especie de cacao es un híbrido biológico natural entre Criollos y Forasteros, que fue exportado por Trinidad donde los colonos españoles habían establecido plantaciones. No tiene atributo puro a su especie y la calidad de su cacao varía de media a superior, con un contenido fuerte en manteca de cacao. Representa el 15 % de la producción mundial.

### 2.2 Cacaos Más Buscados.

Actualmente uno de los cacaos más buscados del mundo es el cacao fino de aroma del ecuador, puesto que por esta razón el ecuador es el mayor exportador de cacao en el mundo con un alrededor del 60 % de la producción mundial, esta variedad difiere de los otros por su excelente aroma, textura y color en forma natural.<sup>4</sup>

### 2.3 Composición Nutritiva Del Cacao.

**Cuadro#3**  
**Composición química del cacao**

Propiedades	% Máximo de cotiledón	% Máximo de cáscara
Agua	3.2	6.6
Grasa de la cáscara	57	5.9
Cenizas	4.2	20.7
Nitrógeno total	2.5	3.2
Teobromina	1.3	0.9
Cafeína	0.7	0.3
Almidón	9	5.2
Fibra cruda	3.2	19.2

**Fuente:** [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas\\_.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas_.htm)

<sup>4</sup> <http://www.zchocolat.com/z34/chocolate/chocolate/el-arbol-de-cacao.asp>

**Cuadro# 4**  
**Composición química en baba**

<b>Varía de acuerdo a la estación del clima</b>			
27,03	-	52,05	% Humedad
49,79	-	52,58	% Extracto etéreo
12,04	-	15,91	% Proteína
3,56	-	3,97	% Ceniza
4,81	-	9,22	% Fibra cruda

**Fuente:** [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas\\_I.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas_I.htm)

## 2.4 Fermentación Del Cacao.

**Foto N°2**

**Cacao fermentándose en saquillos**



Fuente: Merchán Tito/Finca San Ángel/2010.

Este proceso es uno de los más complejos, que de este depende la calidad aromático que presenta el cacao y además necesita de un control riguroso en todo este proceso. En la actualidad este tema es de gran interés por que a través del tiempo no se ha podido resolver algunos problemas como: el porqué del oscurecimiento en el secado y ahora se ha podido demostrar que es por exceso de tiempo en la fermentación, este entre otros problemas.



Primero para el proceso de fermentación se toma las vainas, se las abre y se extrae los granos, estos al estar en esta parte entran en contacto con el ambiente y además con la manipulación, en donde pierden su esterilidad y se contaminan con microorganismos y que ayudan al proceso de fermentación.

En este proceso existe cambio de coloración y del sabor, las condiciones iniciales como bajo nivel de pH y alta concentración de azúcar favorecen la actividad de las levaduras, que en algunas investigaciones realizadas se encontraron hasta veinte y cuatro tipos de levaduras las cuales transforman el azúcar en alcohol y dióxido de carbono<sup>5</sup>.

Después la pulpa que rodea a los granos sufren el proceso de fermentación que permite el desarrollo del color y los sabores características del cacao, pulpa que rodea a los granos sufre un proceso de fermentación, que permite el desarrollo del color y el sabor característicos, que se dan por oxidación del alcohol en ácido láctico y posteriormente en ácido acético, esto origina un incremento de la temperatura en las primeras veinte y cuatro horas.

Dentro de las levaduras que se han podido determinar especialmente se encuentran las *saccharomyces spp* en mayor cantidad seguido por *cerevisae candida krusei*, y que estas se multiplican rápidamente y son capaces de sobrevivir hasta después de los procesos de secado y es así que se ha encontrado en un aproximado de ciento siete levaduras sobre gramos de granos almacenados<sup>6</sup>.

El tiempo de fermentación es de 120 a 140 horas dependiendo la variedad y las condiciones ambientales de cada zona.

Además las condiciones de cómo se fermenta el cacao son fundamentales para un mejor desarrollo de los precursores característicos del cacao.

---

<sup>5</sup> INIAP/Ing. Nely Paredes. Estación experimental central de la amazonía/Manual de cultivo de cacao para la amazonía ecuatoriana.

<sup>6</sup> Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 176.

### 2.4.1 Tipos De Recipientes Fermentadores.

Dentro de los recipientes la característica fundamental es que deben ser permeables para poder eliminar la parte líquida que sale del mucílago del cacao. Esto como característica fundamental.

Además se recomienda que la temperatura sea uniforme o sea que debe ser controlada y no permitir las corrientes de aire frío.

No se recomienda recipientes químicos como por ejemplo recipientes plásticos saquillos.

Lo mejor es utilizar cajones de madera con agujeros para eliminar el líquido. Estos deben ser instalados en cuartos cerrados o controlados su temperatura.

**Foto 3**

#### **Fermentación en cajas de madera**



Fuente: <http://encontrarte.aporrea.org/imagenes/11/002Cacao11.jpg>

### 2.4.2 Proceso De Fermentación.

Se lo coloca en los cajones con su debida dosificación o cantidad que es por cada metro cúbico.

No debe ser removidas durante las primeras treinta horas después se las mueve cada veinte y cuatro horas para eliminar el CO<sub>2</sub> y permitir ingresar nuevo O<sub>2</sub> para garantizar el proceso de oxidación<sup>7</sup>.

Una vez alcanzado el tiempo se lo retira de los cajones y se lo deja libre unas tres horas para pasar al proceso del secado.

**Foto N°4**  
**Mala Fermentación**



**Foto N°5**  
**Buena Fermentación**



**Fuente** :Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 173:1987 Cacao en grano

Color marrón violeta dependiendo la variedad.

## **2.5. Secado.**

El secado es un método más antiguo para la conservación de alimentos, en el cual la operación básica es la extracción de agua de cualquier alimento para evitar la proliferación de microorganismos patógenos que causan la degradación del producto. Además esta operación es manejable y se la puede acondicionar modificando los parámetros y acondicionando los diferentes equipos, para diferentes requerimientos de cada producto o elemento que necesitamos secar, para lo cual se ha direccionado los diferentes procesos con el uso de equipo, utilizando métodos físicos o mecánicos, en los cuales el agua

---

<sup>7</sup> <http://www.canacacao.org/cultivo/fermentacion/>

suele eliminarse por: evaporación, ahumado, liofilización, en esta ultima; después se usa la sublimación, para lo cual vamos a estudiar los métodos más utilizados.

## **2.6 Tipos De Secado.**

En este campo se puede encontrar algunos métodos para secar, desde los naturales hasta mecánicos y para lo cual vamos a considerar objeto de análisis y estudiar los siguientes.

### **2.6.1. Secado Natural.**

#### **Foto N°6**

#### **Cacao secándose en el piso**



Fuente: Merchán Tito/Finca San Ángel/2010.

Este método es el más fácil de usar ya que solo se usa el calor del sol, el cual consiste en que después de hacerle un fermentado se lo riega o tiende en piso puede ser de cualquier tipo de material cemento plástico telas saquillos entre otros y se lo esparce, tomando en cuenta que los granos no se amontonen, que solo quede una sola capa de espesor de cacao. Una de las ventajas de este método es que es bastante económico y hasta la actualidad es el mejor y el mas utilizado en nuestro medio.las desventajas que presentan tienen que ver

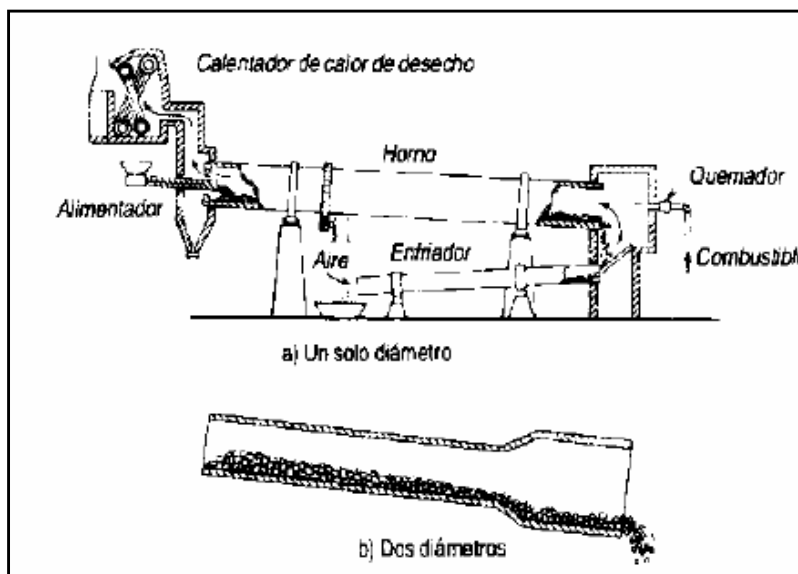
fundamental con las condiciones climatológicas cuando no hay sol no se puede secar y el producto no puede permanecer mucho tiempo

El inconveniente es que en zonas bastante húmedas no se puede tener un clima apropiado para aprovechar el sol todos los días y el cacao necesita de un aproximado de veinte horas de calor del sol con una temperatura ambiente de 27 grados y una humedad de 60% para secarse, tiempo en el que el clima puede variar y no se puede esperar largo tiempo para secar por que presenta problemas físicos como cambio de color a pardo muy oscuro y cambios químicos transformación de los azúcares, además puede presentar problemas de hongos y moho.

### **2.6.2. Secador rotatorio**

El secador rotatorio constituye una de las formas más ampliamente utilizadas para el secado, de una amplia gama de materiales, a nivel industrial, en forma rápida y con bajo costo unitario cuando se trata de grandes cantidades. En este tipo de secador, el material húmedo es continuamente elevado por la rotación del secador, dejándolo caer a través de una corriente de aire caliente que circula a lo largo de la carcasa del secador. El flujo de aire puede ser tanto en paralelo como en contracorriente. Los secadores de gran tamaño poseen, a continuación, un enfriador del producto, que opera en base al mismo principio y con aire en contracorriente o un enfriador en lecho fluidizado. Estos secadores se pueden diseñar para tiempos de secado comprendidos entre 60 y 480 minutos y capacidad de secado desde unos pocos kilogramos por hora hasta alcanzar las 200 t/h.

## Gráfico N°2 Secador rotatorio

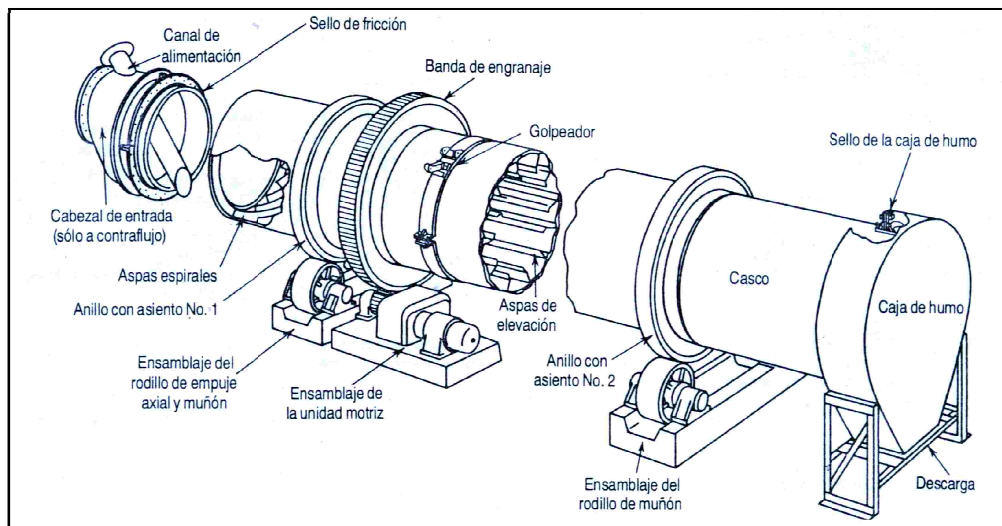


Fuente: John Perry, Manual del ingeniero Químico. Sexta edición. 1980

En la industria química su mayor uso es el secado de sales fertilizantes, como el sulfato nitrato y fosfato de amonio, sales potásicas y fertilizantes.

Son muy adecuados para el secado de productos granulares, con buenas características de flujo que requieren tiempos de secado moderados. Pueden ser adaptados para manipular materiales algo pegajosos mediante dispositivos especiales que disgreguen las costras sólidas formadas. De hecho, la acción de volcado es beneficiosa dentro de ciertos límites para todos los productos, pues se rompe la corteza semipermeable que se forma en la superficie de las partículas que se secan, con lo cual se facilita la salida de la humedad desde el interior de las partículas. Además se adecuan bastante bien para materiales termo sensibles, en los casos en que una restricción en la temperatura de secado no implique que el tiempo de secado tenga que ser muy prolongado. Sin embargo, no son adecuados para las siguientes aplicaciones: secado de barros, suspensiones y materiales muy pegajosos. Además, presentan limitaciones en el secado de materiales polvorientos o livianos, los cuales son arrastrados fácilmente por la corriente gaseosa. En estos casos deben tomarse en consideración los secadores rotatorios indirectos, como los más adecuados.

**Gráfico N°3**  
**Configuración de los componentes de un secador rotatorio a contracorriente y de calor directo**



**Fuente:** CE Raymond / Bartlett Snow Co

Un secador rotatorio consiste en un cilindro que gira sobre cojinetes apropiados y, por lo común tiene una leve inclinación en relación con la horizontal.

La longitud del cilindro varía de 4 a 10 veces su diámetro, que oscila entre menos de 0,3 hasta más de 3 metros<sup>8</sup>.

El producto ingresa por un extremo y se desplaza a lo largo del cilindro volteándose constantemente hasta que descargan al otro extremo debido a la inclinación del cilindro, el aire circula dentro del cilindro y puede ser de manera libre o forzada y en dirección paralela o en contracorriente.

<sup>8</sup> John Perry, Fundamentos de la Ingeniería Química



## Cuadro N°5

### Datos típicos de rendimiento de secadores rotatorios de calor directo y corriente paralelo, con aire tibio\*

Material: sólidos sensibles al calor Temperatura máxima de los sólidos: 65°C Condiciones de la alimentación: 25% de humedad, 27°C Condiciones del producto: 0.5% de humedad, 65°C Temperatura del aire de entrada: 165°C Temperatura del aire de salida: 71°C							
Tamaño del secado, m x m	1.269 x 7.62	1.372 x 7.621	1.524 x 9.144	1.839 x 10.668	2.134 x 12.192	2.438 x 13.716	3.048 x 16.767
Evaporación, kg/h	136.1	181.4	226.8	317.5	408.2	544.3	861.8
Trabajo, 10 <sup>8</sup> J/h	3.61	4.60	5.70	8.23	1.12	1.46	2.28
Vapor, kg/h a kg/m <sup>2</sup> manométrica	317.5	408.2	521.6	725.7	997.9	1315	2041
Descarga, kg/h	408	522	635	953	1270	1633	2586
Velocidad de salida, m/min	70	70	70	70	70	70	70
Volumen de salida, m <sup>3</sup> /min	63.7	80.7	100.5	144.4	196.8	257.7	399.3
Ventilador de salida, kW	3.7	3.7	5.6	7.5	11.2	18.6	22.4
Unidad motriz del secador, kW	2.2	5.6	5.6	7.5	14.9	18.6	37.3
Peso de envío, kg	7700	10 900	14 500	19 100	35 800	39 900	59 900
Precio, I.A.B. Chicago (dólar EU)	\$100 000	\$125 000	\$140 000	\$170 000	\$210 000	\$245 000	\$320 000
* Cortesía de Swenson Division, Whiting Corporation. Nota: Caída de presión supuesta en el sistema: 200 mm. El sistema incluye calentadores de aire con aletas, pieza de transición, secador, unidad motriz, recolector de producto, ducto y ventilador. Los precios son por construcción en acero al carbono e incluyen todo el sistema del secador (enero de 1982). Para fabricación con acero inoxidable 304, multiplíquense los precios citados por un factor de 1.5.							

## 2.7 Materiales y partes de los secadores.

### 2.7.1. Ángulos.

Este componente es uno de los más pesados y se lo utiliza para dar la estructura a la maquinaria por presentar resistencia mecánica.

Están elaborados de hierro dulce de 4cm de ancho por lado y 2mm de espesor, con una resistencia de 500Kg/cm<sup>2</sup>, para la optimización de los ángulos se debe analizar la capacidad de la maquinaria en base a su peso.

### 2.7 2. Carcasa

Es la parte que protege al sistema de secado, es de forma rectangular y alberga a los cilindros, es de tool de acero galvanizado de 1mm de espesor y recubierto con pintura verde anticorrosiva. Además sirve como protección ante



el calor que despiden el equipo, es la base del motor reductor y está apoyado en los ángulos principales que sostienen al equipo.

### **2.7.3 Soporte móvil**

Son las bases de una parte del equipo, se sitúan paralelo a la tolva de carga, ya que de esta forma se puede manipular el ángulo del equipo y como consecuencia la velocidad de descarga del producto, está conformado por pernos de acero 1018 no aleado de ½ pulgada de grosor y 25 cm de largo, que modifican el nivel del equipo de acuerdo a la dirección de rotación que se le aplique (izquierda eleva, derecha desciende).

### **2.7.4 Tolva de carga y descarga**

La tolva de carga es de tool de acero galvanizado de 1mm y al igual que la carcasa su parte externa está recubierto con pintura verde anticorrosiva, tiene forma rectangular, y es grande con la finalidad que se pueda cargar la mayor cantidad de cacao posible.

La tolva de descarga tiene forma cilíndrica y es del mismo material, mantiene la forma de los cilindros y además recibe el cacao y lo desliza a los sacos.

### **2.7.5 Motor**

Con una potencia de ¼ HP son dos equipos en uno, además de dar la potencia de rotación al secador, también realiza la función de reductor de velocidad, los motores por lo general tienen 3600 rpm el motor y reductor del equipo tiene 80 rpm, lo que nos permite realizar un solo juego de cadenas y catalinas para bajar a la velocidad ideal que es de 4,5 rpm., trabaja con 110 voltios y 12 amperios.

### 2.7.6 Tubería de vapor

La tubería principal es de acero galvanizado cedula 40 de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, 4mm de espesor, con una resistencia a la tracción de 415Mpa y un límite de fluencia mínima de 240 Mpa. Con la siguiente composición; Carbono: 0.30%, Manganeso: 1.20%, Fósforo: 0.05%, Azufre: 0.045%, Cobre: 0.40%, Níquel: 0.40%, Cromo: 0.40%, Molibdeno: 0.15%, y Vanadio: 0.08%, a la cual se le adaptó 6 metros de tubería de cobre de  $\frac{1}{2}$  pulgada, 1mm de espesor y con un soporte de presión de 100Mpa, brinda mayor calor de transferencia y es la que atraviesa los cilindros en su centro.

### 2.7.7 Cilindros

Los cilindros son de acero inoxidable 316 grado alimenticio, perforado a un 40%, son dos, el primer cilindro tiene 17cm de diámetro, 2,4m de largo y 1mm de espesor, el segundo cilindro tiene 32cm de diámetro, 2,4m de largo y 1mm de espesor. Existe también un tercer cilindro con 38cm de diámetro, 2,4m de largo y 1mm de espesor el cual es de tool galvanizado y sin perforaciones, este cilindro cumple la función de impermeabilizar el sistema.

#### Cuadro#6

#### Composición química del acero inoxidable 316 de los primeros cilindros.

C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %
0,08	1	2	17	12	2,5

Fuente:<http://html.rincondelvago.com/aleaciones-del-acero-y-aluminio.html>

### 2.7.8 Ducto de aire

El ducto de aire es un tubo de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 2,4m de largo, este ducto se le acopló al equipo con la finalidad de re circular el aire caliente

húmedo y se le adaptó un extractor de humedad para extraerle la humedad para re incorporarlo al sistema.

### **2.7.9 Perilla de regulación de temperatura**

La perilla de regulación es un dispositivo eléctrico que se encuentra conectado a la válvula solenoide la cual permite regular la temperatura dentro del secador mediante sensores automáticos dentro del sistema, tiene un rango de regulación de 5°C y tiene un límite de temperatura que va de 0°C a 100°C.

### **2.7.10 Trampa termodinámica**

La trampa termodinámica es de acero galvanizado y es de ½ pulgada para que pueda ser adaptada a la tubería de vapor. Tan pronto como el vapor deja la caldera empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura. Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura.

#### **Características**

Presión máxima de operación: 42 bar

Temperatura máxima: 427°C (TD52), 400°C.

Presión mínima de operación: 0,24 bar

Las ventajas de utilizar trampas son muchas, nombrando unas de las más comunes la de economizar grandes cantidades del combustible requerido para calentar las inmensas cantidades de agua lo que conlleva a un ahorro en los costos no despreciable.

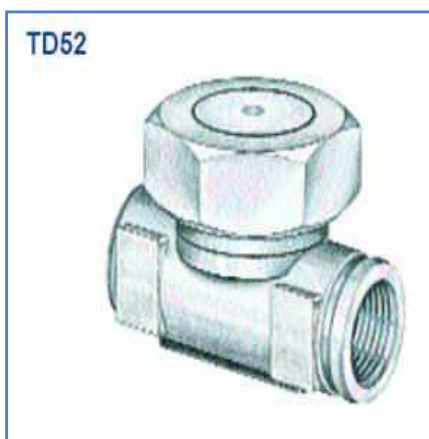
Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar: condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor, .

- **Eliminación de condensado:** El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

- **Eliminación de aire y otros gases no condensables:** El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> causan corrosión.
- **Prevención de pérdidas de vapor:** No deben permitir el paso de vapor sino hasta que éste ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

#### Gráfico N°4

#### Trampa termodinámica de vapor



Fuente: <http://www.control-specialties.com/pr578-spirax-sarco-td52.php>

#### 2.7.11 Extractor de humedad del aire

Consta de un motor de  $\frac{1}{4}$  HP que trabaja a 110 Voltios y 12 Amperios y mediante la aplicación del principio físico de la condensación, el extractor de humedad consiste en hacer chocar el aire húmedo caliente que pasa por el ducto contra un serpentín que tiene 80cm de longitud que tendrá una temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$ , a esa temperatura el vapor de agua presente en el aire se condensa y cae a una trampa de agua asegurada por un tapón que permite que el agua extraída salga del sistema.

### **2.7.12 Aislantes térmicos.**

Este material es lana de vidrio con una densidad de  $110\text{Kg/m}^3$  y una conductividad térmica de  $0,045\text{W/m}^\circ\text{C}$  tiene un espesor de 1 pulgada y es de vital importancia, reduce las pérdidas de calor e influye directamente en los costos fijos de la producción.

Si el aislante no está bien instalado o mal dimensionado se pierde energía por tal razón aumenta el costo de producción.

### **2.7.13. Válvulas de vapor Solenoide**

La válvula de solenoide consta de un diámetro de entrada y salida de  $\frac{1}{2}$  pulgada, soporta una presión de 5 a 125 psia. y una temperatura de 100 a  $150^\circ\text{C}$  de agua caliente, está elaborada en material de acero inoxidable.

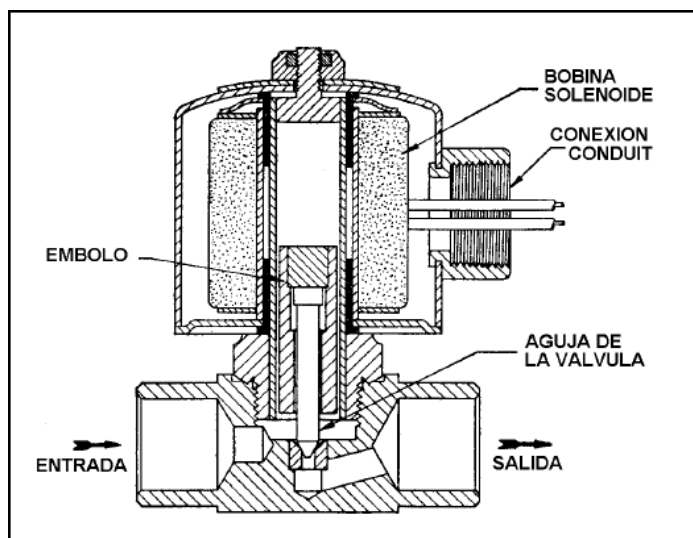
Es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula.

El solenoide es una forma simple de electroimán que consiste de una bobina de alambre de cobre aislado, o de otro conductor apropiado, el cual está enrollado en espiral alrededor de la superficie de un cuerpo cilíndrico, generalmente de sección transversal circular (carrete). Cuando se envía corriente eléctrica a través de estos devanados, actúan como electroimán. El campo magnético que se crea, es la fuerza motriz para abrir la válvula. Este

campo atrae materiales magnéticos, tales como el hierro y muchas de sus aleaciones.<sup>9</sup>

Dentro del núcleo va un émbolo móvil de acero magnético, el cual es jalado hacia el centro al ser energizada la bobina.

**Grafico N°5**  
**Válvula solenoide típica**



Fuente: [http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt\\_cap\\_07.pdf](http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_07.pdf)

#### 2.7.14. Rodamientos.

Consta de dos rodamientos de caucho de 25cm de diámetro por 4cm de espesor con soporte interno de carga de hasta 250Kg por m<sup>2</sup>, dentro de esto tenemos las chumaceras en la cual utilizamos la de re lubricación son las que operan a temperaturas de hasta cien grados centígrados estas son diseñadas para que si algún tipo de liquido agua se ponga en contacto no presente obstrucción con los rodamientos internos que tienen estas.<sup>10</sup>

Estas permiten el des alineamiento de hasta dos grados sea a la izquierda o a la derecha.

<sup>9</sup> [http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt\\_cap\\_07.pdf](http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_07.pdf)

<sup>10</sup> <http://www.ntnmexico.com.mx/pages/spanish/chumaceras.html>

### **2.7.15. Ejes.**

Son dos y su material de construcción es el acero forjado 1060 con la siguiente composición; Carbono: 0,6%, Sílice: 0,25% y manganeso: 0,75%. Es un elemento de geometría cilíndrica que sirve como soporte para el sistema rotacional de la cámara de secado.

### **2.7.16. Termocupla.**

Son sensores de temperatura quizá uno de los más usados dentro del campo industrial. La termocupla es un transductor de la temperatura y la convierte en una señal eléctrica y está compuesto por dos alambres eléctricos que unidos dan una diferencia de potencial eléctrico y es de hasta 100 °C.

### **2.7.17. Interruptor**

Un interruptor eléctrico es un dispositivo utilizado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica, este dispositivo es de un solo polo y es de 120 Voltios.

### **2.7.18. Ventilador (extractor)**

Un ventilador es un sistema que mediante un rodete con aspas giran produciendo una corriente de aire mediante la diferencia de presiones, trabaja a 12 voltios y 1,5 Amperios.

### **2.7.19. Relé**

El relé o relevador, es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar un flujo de circuitos eléctricos independientes. Fue

inventado por Joseph Henry en 1835<sup>11</sup>. Este dispositivo es de doble de cuatro entradas y para 120 voltios y 9 amperios.

## **2.8 Condiciones Para Almacenar Cacao Seco.**

Esta se debe tomar con precaución y dentro de los parámetros que se debe considerar están los siguientes:

Debe ser un área cerrada tipo galpón solo y exclusiva para el almacenamiento. El área debe estar limpia por dentro y fuera. Protegida contra el ataque de roedores, además se debe contar con extractores de aire húmedo para mantener un ambiente controlado a una temperatura de hasta 30°C.

La limpieza se la debe realizar con los insumos permitidos sean estos químicos u organitos, permitidos por la ley. No se debe almacenar cerca ni colocar productos que emanen olores o sabores extraños o fuertes. El almacenamiento se lo realiza sobre pallets.<sup>12</sup>

## **2.9 Fórmulas Secador rotatorio.**

Las formulas para el control del secado en estos sistemas son de mucha importancia que van a influenciar en la determinación de los parámetros de secado, por esta razón se debe considerar las siguientes condiciones para el manejo adecuado del secador<sup>13</sup>:

- Temperatura de secado. 70 grados
- Grado de humedad. 54% humedad al inicio del producto.
- Tiempo de secado. 8 horas.
- Tiempo de fermentación del cacao 100 a 120 horas.

---

<sup>11</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Relay>

<sup>12</sup> [www.flordebaba.com/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_ECUATORIANA\\_NTE\\_INEN\\_176\\_y\\_177](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_176_y_177)

<sup>13</sup> <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap7/leccion76.htm>



### 2.9.1. Psicrometría

**Humedad Absoluta.**- es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se expresa en gramos de agua por kilogramo de aire seco.

Gr/Kg.

**Humedad Relativa.**-es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitirse sin producir condensación.

$$\text{HR.} = \frac{P(\text{H}_2\text{O})}{P^*(\text{H}_2\text{O})} * 100\%$$

Hr = humedad relativa-

P (H<sub>2</sub>O) Presión parcial de vapor de agua.

P \* (H<sub>2</sub>O) Presión de saturación de vapor de agua.

O sea es la capacidad del aire de aceptar más o menos vapor de agua y se expresa en porcentaje.

### 2.9.2. El proceso de convección

La convección describe el proceso mediante el cual un fluido se mueve en una comunicación termal con una superficie solida o liquida, recibe o libera energía por medio de conducción o radiación y entonces deja la superficie. El movimiento del fluido es necesario para que se efectúe el fenómeno de la convección. Si ese movimiento es causado por algún mecanismo externo como un ventilador o una bomba, la situación se conoce como convección forzada. Si el movimiento es causado por diferencia de temperatura local y efectos de flotación, la situación es conocida como convección libre.

La fórmula del calor por convección está dada por:

$$Q = h \times A \times (T_s - T_a) \text{ Donde;}$$

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$A$  = El área de la superficie que transmite calor.

$T_s$  = Temperatura de la superficie

$T_\alpha$  = Temperatura del fluido.

Además existen otros números adimensionales que respaldan el cálculo de la convección:

**Nusselt** : coeficiente adimensional de transferencia de calor

$$Nu = h.L / K$$

$h$  = Coeficiente pelicular

$L$  = Longitud característica como diámetro de un tubo o longitud de una superficie plana.

$K$  = Conductividad térmica de un fluido.

**Grashof**: represente la relación entre las fuerzas ascendentes y las fuerzas viscosas en una situación de convección libre.

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

$g$  = aceleración por gravedad.

$\beta$  = Coeficiente isobárico

$T_s$  =  $^\circ T$  superficial

$T_\alpha$  =  $^\circ T$  del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$L$  = Longitud de la superficie plana o diámetro de un tubo

### 2.9.3. Eficiencia Térmica Del Secador.

$$e = \frac{Q \text{ teórico del secador}}{Q \text{ práctico del secador}}$$

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo De Investigación.**

##### **3.1.1 Descriptiva.**

Esta es una investigación descriptiva debido a que las variables se las puede describir y modificar para dar mayor resultado

##### **3.1.2 No Observacional.**

Esta es una investigación no observacional por que permite modificar las variables que presentan como es el tiempo de secado y la temperatura.

##### **3.1.3 Relacional.**

Esta es una investigación relacional porque las variables se relacionan entre sí de forma directa o inversa de acuerdo a las necesidades que se determine en el proceso.

#### **3.2 Métodos De Investigación.**

##### **3.2.1 Inductivo.**

La investigación requiere de este método por no contar con una solución exacta al problema por lo tanto se parte del problema, utilizando la experimentación par a través de esta establecer normas, para la construcción del equipo o sea se parte del problema para llegar a la conclusión.

### **3.3 Técnicas De Investigación.**

Para esta investigación se utiliza varias técnicas e incluso la parte empírica porque esta trae información experimental de bastantes años atrás.

Además existe poca información científica por tal motivo se aplican las diferentes técnicas como son.

#### **3.3.1 Fuentes Primarias.**

En esta investigación son la principal fuente general ya que se realiza de forma directa en este caso es al agricultor, aquellos que utilizan el secado natural y a baja escala es donde se ha recogido información valiosa.

#### **3.3.2. Fuente Secundaria.**

Este tipo es conceptual si cabe el termino es decir lo que esta analizado y se encuentra mediante recopilación de archivos, revisión de tesis, internet revista y otras más, que se relacionan no de forma tan objetiva.

### **3.4 Obtención de la pulpa seca de cacao.**

Para obtener un secado ideal son necesarios algunos procedimientos.

#### **3.4.1 Materiales y equipos para el secado de cacao.**

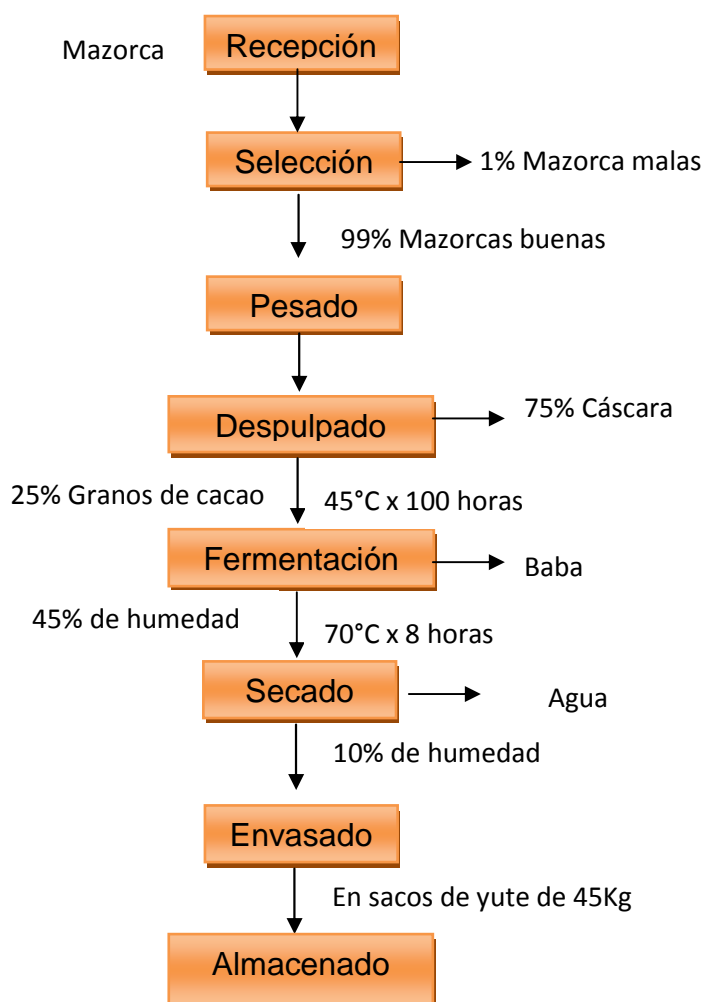
- Secador tipo rotatorio.
- Balanzas
- Sacos
- Mesa
- Cuchillos
- Mantales
- agua.

### **3.4.2 Materia prima.**

-Cacao

Dentro de esto se debe considerar la calidad de fermentación, la cual está dada por el tiempo y por el material empleado para realizarla, la fermentación en cajones es la mejor opción a la hora de obtener un producto final con un fino sabor y aroma además el tiempo que se estipulado por experiencia de los cacaoteros y la experiencia técnica obtenido en este proyecto en base a la norma INEN, que permite fermentar en cien a ciento veinte horas, y tomando en consideración la humedad relativa, la época del año se pudo determinar que para nuestra zona, son necesarias cien horas de fermentación.

### 3.4.3 Diagrama de flujo del proceso de secado del cacao.



### 3.4.4 Descripción del diagrama de flujo.

#### 3.4.4.1 Recepción.

Es la primera parte del proceso en donde se recibe la materia prima al productor o intermediario en mazorca, esta debe tener un color brillante, y se receptaran mazorcas que tengan un peso promedio de 0,9Kg y las dimensiones promedio de 11cm de ancho por 17cm de largo.

#### **3.4.4.2 Limpieza.**

En esta parte se procede a dar una limpieza superficial a la mazorca en donde se retira las basuras o sea residuos de pedazos de ramas materia orgánica descompuesta, que por acción del contacto con el suelo, al momento de cosecha se pegan en la cáscara de la mazorca.

Esta operación se la realiza bajo techo y a una temperatura de 28°C, además debe realizarse lo más rápido posible en un tiempo máximo de 1 hora.

#### **3.4.4.3 Pesado.**

En este paso se toma el peso para determinar cuánto es el peso total de la mazorca para después este dato nos ayuda en el rendimiento y el costo para la compra en mazorca al productor.

#### **3.4.4.4 Cortado.**

Cuando la mazorca está limpia se procede a partir la mazorca, aquí se utiliza cuchillos grandes de acero inoxidable bien afilados, porque la mazorca es gruesa y dura, se debe realizar el corte transversalmente teniendo cuidado en no dañar las pepas o habas, el proceso se lo realiza a una temperatura de 28°C y no debe tardar más de una hora.

#### **3.4.4.5 Despulpado.**

En esta parte se retira la parte de la cáscara y se retira las habas o pepas de cacao, estas se colocan en sacas o pasan a los cajones de fermentación, este paso también debe ser rápido y el tiempo estimado para esta operación es de 1 hora y se lo realiza a una temperatura de 28°C.

#### **3.4.4.5 Fermentación.**

Esta etapa es una de las más importantes, se debe tomar todas las precauciones necesarias, por ser la etapa en donde se producen los cambios físicos y químicos del cacao, por tal motivo los cambios bromatológicos del cacao, que influyen en la calidad especialmente la aromática que estos después van a servir para su diferente aplicación dentro de su industrialización, esto sucede bajo condiciones controladas, bajo techo, en los cajones de fermentación de madera, de preferencia roble o laurel, controlando que la temperatura se mantenga en el margen de 20 a 45°C por 100 horas.

#### **3.4.4.6 Secado.**

Es el proceso final para la obtención del cacao, en esta operación es importante monitorear los parámetros de calidad del secado como son el color y el aroma, se debe tomar en cuenta las variables que afectan la calidad del cacao, como son la temperatura (70°C) y el tiempo (8 horas), el cacao ingresa con una humedad inicial de 45% y debe salir con una humedad máxima de 10%, parámetro fundamental para su futuro proceso.

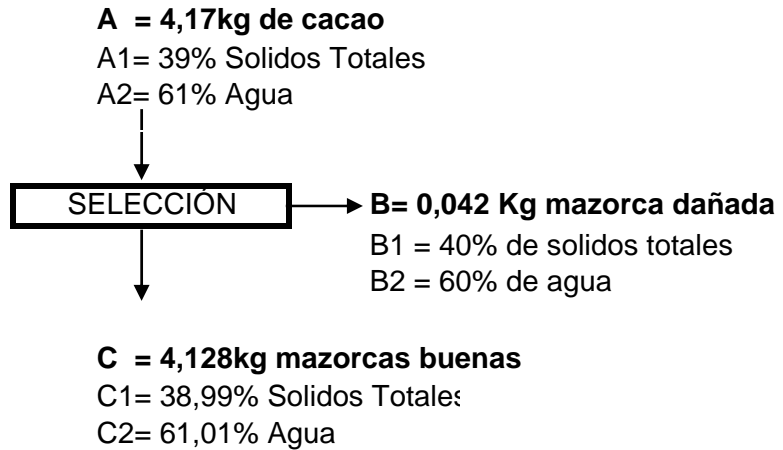
#### **3.4.4.7 Llenado.**

Este se lo realiza generalmente en sacas de yute de un quintal, para este proceso se deja enfriar el cacao seco hasta 30°C para después ser trasladado a las procesadoras.



### 3.5 Balance de materia a nivel de laboratorio para el proceso de secado del cacao

#### BALANCE EN LA SELECCIÓN



#### Balance General

$$A = B + C$$

$$C = 4,17 - 0,042$$

$$C = 4,128 \text{ Kg de mazorcas de cacao buenas}$$

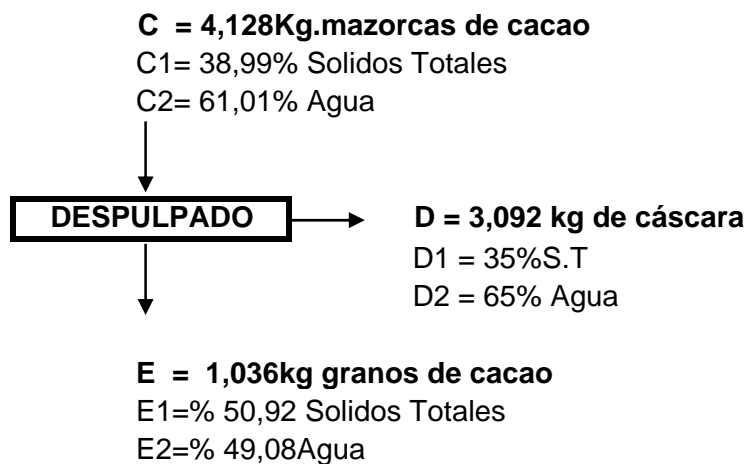
#### Balance parcial de solidos totales

$$4,128(x) = 4,17(0,39) - 0,042(0,40)$$

$$x = 1,6095/4,128$$

$$x = 38,99\% \text{ de solidos totales}$$

#### BALANCE EN EL DESPULPADO



**Balance General**

$$C - D = E$$

$$E = 4,128 - 3,092$$

$$E = 1,036\text{Kg de granos de cacao}$$

**BALANCE DE SOLIDOS TOTALES**

$$1,036(x) = 4,128(0,3899) - 3,092(0,35)$$

$$x = 0,527/1,036$$

$$x = 50,92\% \text{ de solidos totales}$$

**BALANCE EN EL FERMENTADO**

**E = 1,036Kg. granos de cacao**

E1= 50,92% Solidos Totales

E2= 49,08% Agua

**FERMENTACIÓN**

**F = 0,052kg de baba**

F1 = 5% S.T

F2 = 95% Agua

**G = 0,984kg cacao ferri**

G1=% 53,33 Solidos Totales

G2=% 46,67 Agua

**Balance General**

$$E - F = G$$

$$G = 1,036 - 0,052$$

$$G = 0,984\text{Kg de granos de cacao}$$

**BALANCE DE SOLIDOS TOTALES**

$$0,984(x) = 1,036(0,5092) - 0,052(0,05)$$

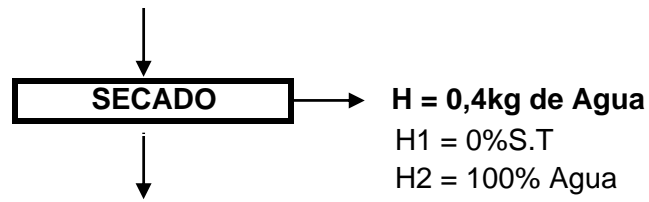
$$x = 0,525/0,984$$

$$x = 53,33\% \text{ de solidos totales}$$

**BALANCE EN EL SECADO****G = 0,984Kg. granos de cacao**

G1= 53,33% Solidos Totales

G2= 46,67% Agua

**H = 0,4kg de Agua**

H1 = 0%S.T

H2 = 100% Agua

**I = 0,584kg cacao seco**

I1=% 90 Solidos Totales

I2=% 10Agua

**Balance General**

$$G - H = I$$

$$I = 0,984 - 0,4$$

$$I = 0,584\text{Kg de granos de cacao}$$

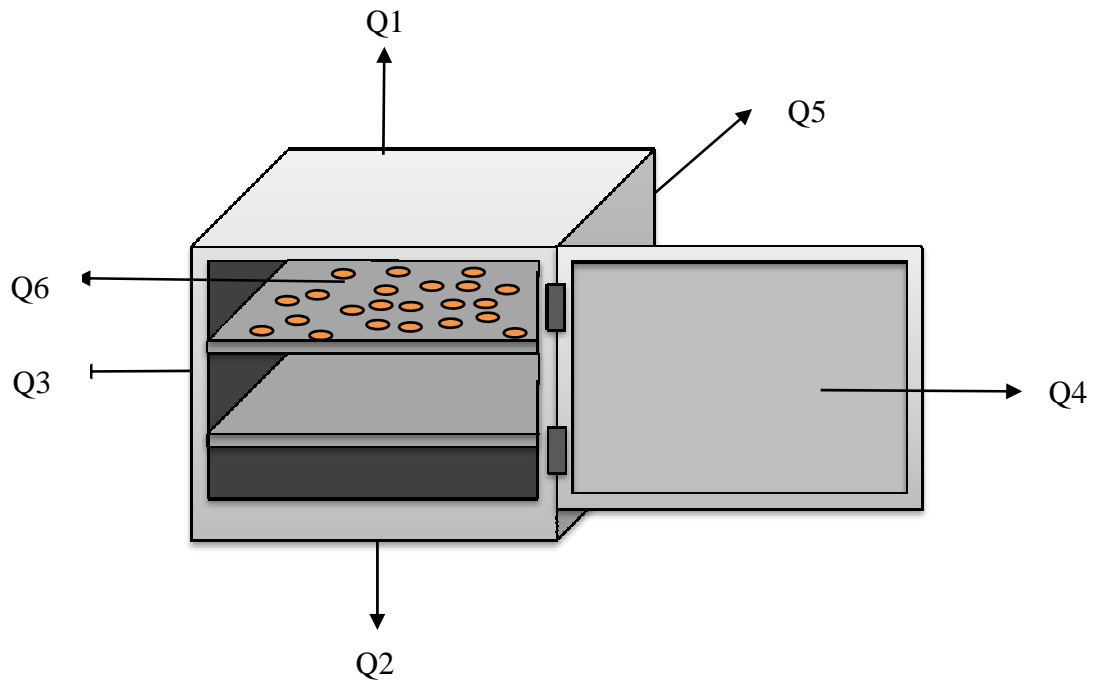
**BALANCE DE SÓLIDOS TOTALES**

$$0,584(x) = 0,984(0,5333) - 0,4(0)$$

$$x = 0,525/0,584$$

$$x = 90\% \text{ de solidos totales}$$

### 3.6 Balance de energía a nivel de laboratorio para el secado del cacao



**Q1= CALOR DE LA PARED HORIZONTAL SUPERIOR**  
**Q2= CALOR DE LA PARED HORIZONTAL INFERIOR**  
**Q3= CALOR DE LAS PAREDES VERTICALES LATERALES**  
**Q4= CALOR DE LA PARED VERTICAL FRONTAL**  
**Q5= CALOR DE LA PARED VERTICAL POSTERIOR**  
**Q6= CALOR DEL PRODUCTO**

CALOR DE LA PARED HORIZONTAL SUPERIOR

$$Q1 = h \times A \times (T1 - T2)$$

DATOS

$$T_s = 50^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{aire}} = 28^\circ\text{C}$$

$$T_f = T_s + T_a/2$$

$$T_f = 50 + 28/2$$

$$T_f = 39 + 273,15 = 312,15 \text{ K}$$

Coeficiente Isobárico

$$\beta = 1/T$$

$$\beta = 1/312,15\text{K}$$

$$\beta = 3,22 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

### DATOS A 37,5°C

Prant =	0,7057
Densidad =	1,13924 Kg/m <sup>3</sup>
Cp =	1,0057 KJ/Kg°C
K =	0,027 W/m°C
Viscosidad =	0,00002 Pascal . S
Longitud =	0,66 m
Area =	0,3300 m <sup>2</sup>
Tf =	37,5 °C
g =	9,8 m/s <sup>2</sup>
T =	28 °C
Ts =	47 °C

$$\text{Nu} = 0,14(\text{GrPr})^{0,333}$$

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

$$\text{Gr} = 5,59\text{E}+08$$

$$\text{Gr} \times \text{Pr} = 3,95\text{E}+08$$

$$\text{Nu.} = 102,01$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times K}{L}$$

$$h = 4,17 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_1 = 26,17 \text{ W}$$

### CALOR DE LA PARED HORIZONTAL INFERIOR

$$Q_2 = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

### DATOS

$$T_s = 47\text{°C}$$

$$T_{\text{aire}} = 28\text{°C}$$

$$T_f = T_s + T_a/2$$

$$T_f = 47 + 28/2$$

$$T_f = 37,5 + 273,15 = 310,65 \text{ K}$$

Coeficiente Isobárico

$$\beta = 1/T$$

$$\beta = 1/310,65 \text{ K}$$

$$\beta = 3,22 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

### DATOS A 37,5°C

Prant =	0,7057
Densidad =	1,13924 Kg/m <sup>3</sup>
Cp =	1,0057 KJ/Kg°C
K =	0,027 W/m°C
Viscosidad =	0,00002 Pascal . S
Longitud =	0,66 m
Area =	0,3300 m <sup>2</sup>
Tf =	37,5 °C
g =	9,8 m/s <sup>2</sup>
T =	28 °C
Ts =	47 °C

$$Nu = 0,14(GrPr)^{0,333}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T) r^2 \times L^3}{m^2}$$

$$Gr = 559127154$$

$$Gr \times Pr = 3,95E+08$$

$$Nu = 102,00925$$

$$h = \frac{Nu \times K}{L}$$

$$h = 4,17 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_2 = 26,17 \text{ W}$$

## CALOR DE LAS PAREDES VERTICALES LATERALES

$$Q_3 = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

DATOS

$$T_s = 42^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{aire}} = 28^\circ\text{C}$$

$$T_f = T_s + T_a/2$$

$$T_f = 42 + 28/2$$

$$T_f = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$$

Coeficiente Isobárico

$$\beta = 1/T$$

$$\beta = 1/308,15\text{K}$$

$$\beta = 3,245 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

### DATOS A 35°C

$$\text{Prant} = 0,706$$

$$\text{Densidad} = 1,148 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 1,0057 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$K = 0,0269 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\text{Viscosidad} = 1,998\text{E-}05 \text{ Pascal} \cdot \text{S}$$

$$\text{Longitud} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0,6600 \text{ m}^2$$

$$T_f = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T) r^2 \times L^3}{m^2}$$

$$Gr = 1,84\text{E}+08$$

$$Gr \times Pr = 1,30\text{E}+08$$

$$\text{Log } 10 (GR \times F) = 8,11$$

$$\text{Log } 10 (Nu) = 1,6$$

$$Nu = 10^{1,6}$$

$$Nu = 39,81$$

$$h = \frac{Nu \times K}{L}$$

$$h = 2,14 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_3 = 19,79 \text{ W}$$

#### CALOR DE LA PARED VERTICAL FRONTAL

$$Q_4 = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

#### DATOS

$$T_s = 42^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{aire}} = 28^\circ\text{C}$$

$$T_f = T_s + T_a/2$$

$$T_f = 42 + 28/2$$

$$T_f = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$$

Coeficiente Isobárico

$$\beta = 1/T$$

$$\beta = 1/308,15\text{K}$$

$$\beta = 3,245 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

#### DATOS A 35°C

$$\text{Prant} = 0,706$$

$$\text{Densidad} = 1,148 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 1,0057 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$K = 0,0269 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\text{Viscosidad} = 1,998\text{E-}05 \text{ Pascal} \cdot \text{S}$$

$$\text{Longitud} = 0,66 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0,3300 \text{ m}^2$$

$$T_f = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T) r_2 \times L^3}{m^2}$$



$$Gr = 4,23E+08$$

$$Gr \times Pr = 2,98E+08$$

$$\text{Log } 10 (GR \times F) = 8,47$$

$$\text{Log } 10 (Nu) = 1,8$$

$$Nu = 10^{1,8}$$

$$Nu = 63,10$$

$$h = \frac{Nu \times K}{L}$$

$$h = 2,57 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_4 = 11,88 \text{ W}$$

#### CALOR DE LA PARED VERTICAL POSTERIOR

$$Q_5 = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

#### DATOS

$$T_s = 42^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{aire}} = 28^\circ\text{C}$$

$$T_f = T_s + T_a/2$$

$$T_f = 42 + 28/2$$

$$T_f = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$$

Coeficiente Isobárico

$$\beta = 1/T$$

$$\beta = 1/308,15 \text{ K}$$

$$\beta = 3,245 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

#### DATOS A 35°C

$$\text{Prant} = 0,706$$

$$\text{Densidad} = 1,148 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 C_p &= 1,0057 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\
 K &= 0,0269 \text{ W/m}^\circ\text{C} \\
 \text{Viscosidad} &= 1,998\text{E-}05 \text{ Pascal} \cdot \text{S} \\
 \text{Longitud} &= 0,66 \text{ m} \\
 \text{Area} &= 0,3300 \text{ m}^2 \\
 T_f &= 35 \text{ }^\circ\text{C} \\
 g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 T &= 28 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_s &= 42 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T) r^2 \times L^3}{m^2}$$

$$Gr = 4,23\text{E}+08$$

$$Gr \times Pr = 2,98\text{E}+08$$

$$\text{Log } 10 (GR \times F) = 8,47$$

$$\text{Log } 10 (Nu) = 1,8$$

$$Nu = 10^{1,8}$$

$$Nu = 63,10$$

$$h = \frac{Nu \times K}{L}$$

$$h = 2,57 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$Q = h \times A \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_5 = 11,88 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Q perdido por las paredes} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \\
 \text{Q perdido por las paredes} &= 95,88 \text{ W}
 \end{aligned}$$

#### DATOS :

VOLTAJE : 108 V

AMPERAJE : 14,2 AMP

**TIEMPO DE SECADO:** 483 minutos

**NOTA:** 30 min. Para calentar, periodos de 5 minutos de descanso y 2 minutos para calentar.

**TIEMPO ESTIMADO DE TRABAJO :** 158 minutos

**Amperaje promedio =** 4,6 amp

**Q GENERADO =** 496,8 W

$$Q \text{ PRÁCTICO DEL PRODUCTO} = Q \text{ GENERADO} - Q \text{ PERDIDO}$$

$$Q \text{ PRÁCTICO DEL PRODUCTO} = 400,92 \text{ W}$$

### Q TEÓRICO DEL PRODUCTO

$$Q_6 = m \times C_p \times \Delta T$$

### CALOR DEL PRODUCTO

### DATOS DEL PRODUCTO

$$C_p \text{ Cacao} = 1,38(0,90) + 4,181(0,10)$$

$$C_p \text{ Cacao} = 1,66 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

### CALOR SENSIBLE

$$\text{masa} = 1,74 \text{ Kg/158min}$$

$$\text{masa} = 0,6608 \text{ Kg/h}$$

$$C_p = 1,66 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 0,66 \text{ Kg/h} \times 1,74 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \times (70 - 28)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 46,07 \text{ KJ/h}$$

$$Q_s = 12,80 \text{ W}$$

### CALOR LATENTE

$$\text{masa} = 1,2 \text{ kg/158min}$$

$$\text{masa} = 0,4556962 \text{ Kg/h}$$

$$\text{hfg } 70^\circ\text{C} = 2333,8 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_l = m \times H_{fg}$$

$$Q_l = 0,456 \text{ Kg} \times 2333,8 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_l = 1063,50 \text{ KJ}$$

$$Q_l = 295,42 \text{ W}$$

$$Q_6 = Q_s + Q_l$$

$$Q_6 = 12,8 \text{ W} + 295,42 \text{ W}$$

$$Q_6 = 308,21 \text{ W}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{Q \text{ Teorico}}{Q \text{ Practico}} \times 100$$

$$E = \frac{308,21 \text{ W}}{400,92 \text{ W}} \times 100$$

$$E = 76,88 \%$$

#### DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR GLOBAL

##### AREA DE LAS BANDEJAS :

$$b = 0,45 \text{ m}$$

$$h = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Area de las bandejas} = 0,135 \text{ m}^2$$

$$DT = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{Q}{A \times DT}$$

$$U = 70,71 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

### 3.7 Determinación de la curva de secado

**Cuadro#7**

**DATOS EXPERIMENTALES DE LA CURVA DE SECADO**

Tiempo	Muestra	Kg de agua	Agua	Tiempo	velocidad
0	0,98	0	0	0	0,580
30	0,925	0,055	0,055	30	0,525
60	0,87	0,055	0,11	60	0,470
90	0,82	0,05	0,16	90	0,420
120	0,77	0,05	0,21	120	0,370
150	0,72	0,05	0,26	150	0,320
180	0,675	0,045	0,305	180	0,275
210	0,635	0,04	0,345	210	0,235
240	0,605	0,03	0,375	240	0,205
270	0,577	0,028	0,403	270	0,177
300	0,552	0,025	0,428	300	0,152
330	0,53	0,022	0,45	330	0,130
360	0,51	0,02	0,47	360	0,110
390	0,494	0,016	0,486	390	0,094
420	0,479	0,015	0,501	420	0,079
450	0,466	0,013	0,514	450	0,066
480	0,454	0,012	0,526	480	0,054
510	0,443	0,011	0,537	510	0,043
540	0,433	0,01	0,547	540	0,033
570	0,425	0,008	0,555	570	0,025
600	0,417	0,008	0,563	600	0,017
630	0,41	0,007	0,57	630	0,010
660	0,406	0,004	0,574	660	0,006
690	0,403	0,003	0,577	690	0,003
720	0,4	0,003	0,58	720	0,000

Peso inicial del agua	% humedad	59,18%
	% St	40,82%
0,526		100,00%

Peso del agua en masa seca	% humedad	10,71%
	% St	89,29%
0,0486234		100,00%

Peso inicial del agua  
0,5746234

Peso de la muestra seca  
0,4053766

% de humedad inicial  
58,64%

**Cuadro#8**  
**PERDIDA DE HUMEDAD**

<b>TIEMPO (H)</b>	<b>XT</b>	<b>Perdida de H</b>	<b>Kg de agua</b>
0	XT1 = 580	0	0,5746
0,5	XT2 = 580	0,055	0,5196
1	XT1 = 580	0,11	0,4700
1,5	XT1 = 580	0,16	0,4200
2	XT1 = 580	0,21	0,3700
2,5	XT1 = 580	0,26	0,3200
3	XT1 = 580	0,305	0,2750
3,5	XT1 = 580	0,345	0,2350
4	XT1 = 580	0,375	0,2050
4,5	XT1 = 580	0,403	0,1770
5	XT1 = 580	0,428	0,1520
5,5	XT1 = 580	0,45	0,1300
6	XT1 = 580	0,47	0,1100
6,5	XT1 = 580	0,486	0,0940
7	XT1 = 580	0,501	0,0790
7,5	XT1 = 580	0,514	0,0660
8	XT1 = 580	0,526	0,0540
8,5	XT1 = 580	0,537	0,0430
9	XT1 = 580	0,547	0,0330
9,5	XT1 = 580	0,555	0,0250
10	XT1 = 580	0,563	0,0170
10,5	XT1 = 580	0,57	0,0100
11	XT1 = 580	0,574	0,0060
11,5	XT1 = 580	0,577	0,0030
12	XT1 = 580	0,58	0,0000

Fuente: Tito Merchán

**Cuadro#9**  
**CONTENIDO MEDIO DE HUMEDAD**

TIEMPO (H)	XT	Kg agua/Kg A seco	
0	XT1 = 580	0,00	0
0,5	XT2 = 580	1,2818	0,1225
1	XT1 = 580	1,1594	0,1233
1,5	XT1 = 580	1,0360	0,1233
2	XT1 = 580	0,9127	0,1233
2,5	XT1 = 580	0,7893	0,1110
3	XT1 = 580	0,6783	0,0987
3,5	XT1 = 580	0,5797	0,0740
4	XT1 = 580	0,5057	0,0691
4,5	XT1 = 580	0,4366	0,0617
5	XT1 = 580	0,3749	0,0543
5,5	XT1 = 580	0,3206	0,0493
6	XT1 = 580	0,2713	0,0395
6,5	XT1 = 580	0,2318	0,0370
7	XT1 = 580	0,1948	0,0321
7,5	XT1 = 580	0,1628	0,0296
8	XT1 = 580	0,1332	0,0271
8,5	XT1 = 580	0,1060	0,0247
9	XT1 = 580	0,0814	0,0197
9,5	XT1 = 580	0,0616	0,0197
10	XT1 = 580	0,0419	0,0173
10,5	XT1 = 580	0,0246	0,0099
11	XT1 = 580	0,0148	0,0074
11,5	XT1 = 580	0,0074	0,0074
12	XT1 = 580	0,0000	0,0000

Fuente: Tito Merchán.

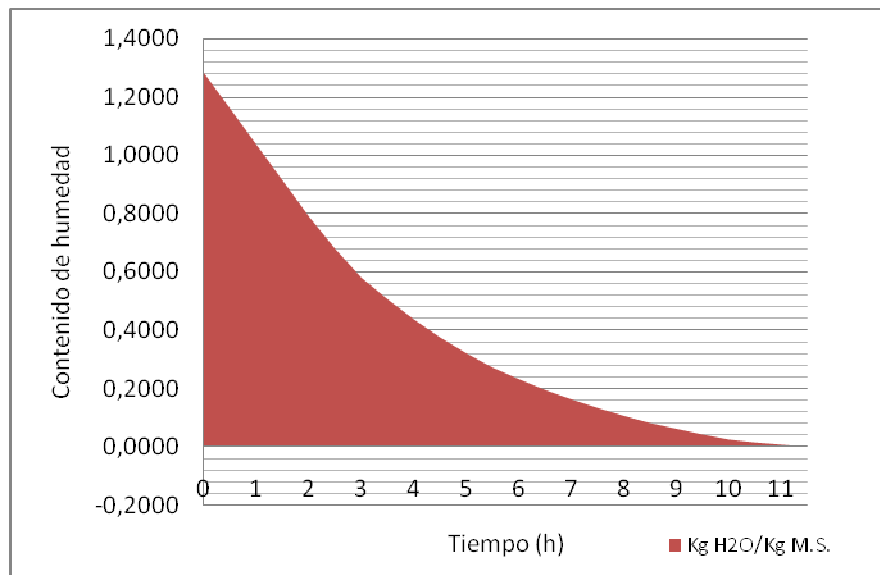
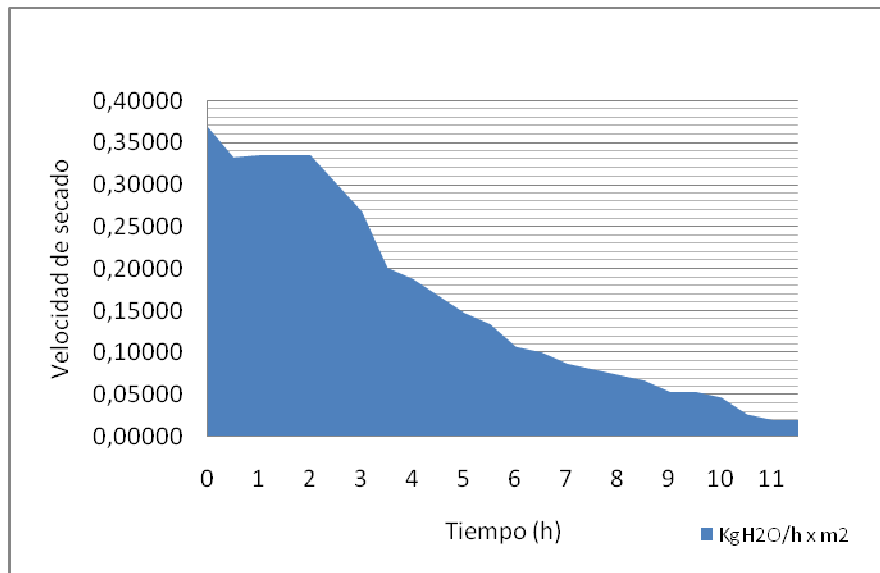
**Cuadro#10**  
**VELOCIDAD DE SECADO**

TIEMPO (H)	x = Formula	
0	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,36913
0,5	$V2 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,36913
1	$V3 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,33317
1,5	$V4 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,33557
2	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,33557
2,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,33557
3	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,30201
3,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,26846
4	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,20134
4,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,18792
5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,16779
5,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,14765
6	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,13423
6,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,10738
7	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,10067
7,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,08725
8	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,08054
8,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,07383
9	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,06711
9,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,05369
10	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,05369
10,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,04698
11	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,02685
11,5	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,02013
12	$V1 = (Xt1 - Xt2)/t \times A$	0,02013

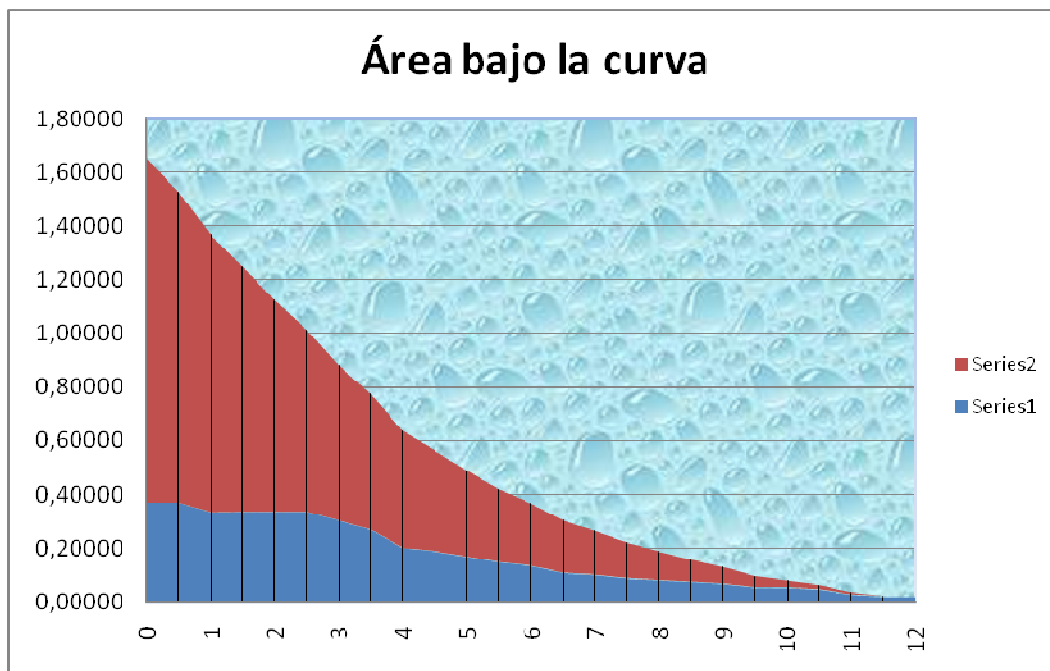
Fuente: Tito Merchán.



**Gráfico N°6**  
**Curva de secado.**



**Gráfico N°7**  
**Área bajo la curva.**



Fuente: Tito Merchán

**Cuadro N°11**  
**Puntos críticos de la curva de secado**

x	W	1/w	y
0,13316	0,0805	12,4166667	0
1,2818	0,36913	2,71	1
1,1594	0,33317	3,00	2
0,4366	0,18792	5,32	3
0,3749	0,16779	5,96	

20,22  
4,04

1,34228188 1,1487

Tiempo 2 = 6,24 H

Tiempo 1 = 8,767 H

Tiempo t = 15,002 H

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DEL SECADOR

#### 4.1 Parámetros

En un inicio el tipo de secador era el de túnel, pero al apreciar los fundamentos propios de este tipo de secador se determinó que su falta de continuidad y difícil automatización no era indicado para secar cacao, dado que este producto contiene baba requiere constante movimiento para que el calor llegue a todas las áreas del mismo.

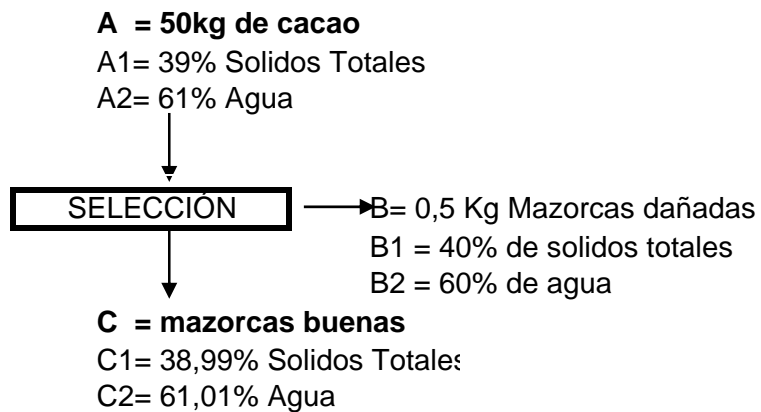
Se requería un equipo que permita ser semi automatizado, donde un solo hombre realice la labor de cargar con producto el equipo y descargarlo permitiendo realizar otras labores y en consecuencia mas productividad. El secador tipo rotatorio cumple con los parámetros requeridos, este consta de un cilindro largo el cual debe ser de un material grado alimenticio como es el acero inoxidable 304 y debe estar perforado para que el exceso del agua en el cacao pueda ser drenada. El equipo, dado que es cilíndrico puede girar sobre un eje permitiendo voltear al cacao constantemente siendo este parámetro la principal ventaja frente al resto de equipos donde es necesario realizar este proceso a mano.

El equipo consta de unos soportes con regulación permitiendo elevar la inclinación y de esta manera acelerar o disminuir la velocidad de flujo de secado de cacao, las revoluciones del cilindro es de 4,5 revoluciones por minuto, parámetro fundamentado en el libro de John Perry, Fundamentos de la Ingeniería Química, donde establece los rangos de revoluciones para secadores rotatorios que es de 2 a 10.

La fuente de calor del secador es el caldero el cual trabaja con una presión de 40 Psi, suficiente para generar 131°C que es una temperatura aceptable para trabajar, los fundamentos de secado son el de conducción y convección, siendo la convección el de mayor importancia para preservar la calidad del cacao.

## 4.2 Balance de materia para el proceso de secado del cacao

### BALANCE EN LA SELECCIÓN



### Balance General

$$A = B + C$$

$$C = 50 - 0,5$$

$$C = 49,5 \text{ Kg de mazorcas de cacao buenas}$$

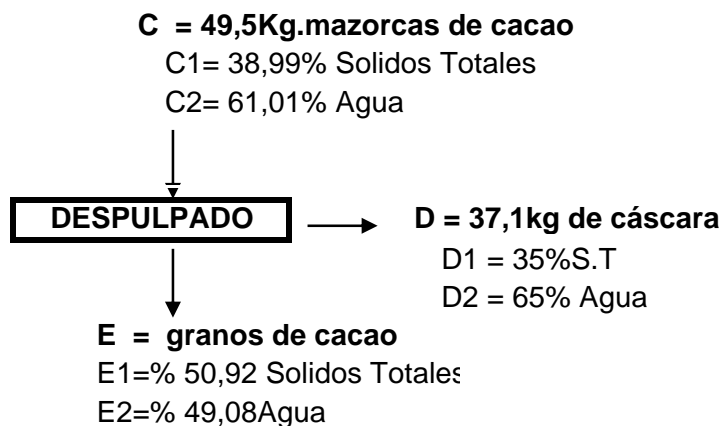
### Balance parcial de solidos totales

$$49,5(x) = 50(0,39) - 0,5(0,40)$$

$$x = 19,3/49,5$$

$$x = 38,99\% \text{ de solidos totales}$$

### BALANCE EN EL DESPULPADO



### Balance General

$$C - D = E$$

$$E = 49,5 - 37,1$$

$$E = 12,4 \text{ Kg de granos de cacao}$$

**BALANCE DE SOLIDOS TOTALES**

$$12,4(x) = 49,5(0,3899) - 37,1(0,35)$$

$$x = 6,315/12,4$$

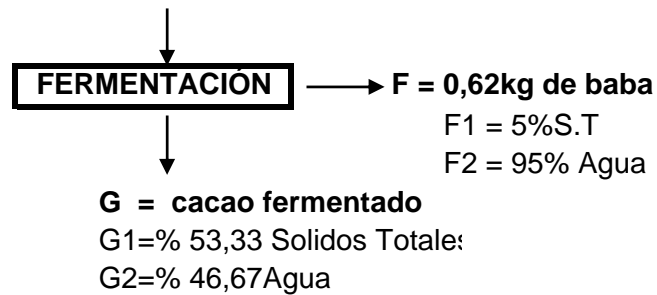
$$x = 50,92\% \text{ de solidos totales}$$

**BALANCE EN EL FERMENTADO**

**E = 12,4Kg. granos de cacao**

E1= 50,92% Solidos Totales

E2= 49,08% Agua

**Balance General**

$$E - F = G$$

$$G = 12,4 - 0,62$$

$$G = 11,78\text{Kg de granos de cacao}$$

**BALANCE DE SOLIDOS TOTALES**

$$11,78(x) = 12,4(0,5092) - 0,62(0,05)$$

$$x = 6,28/11,78$$

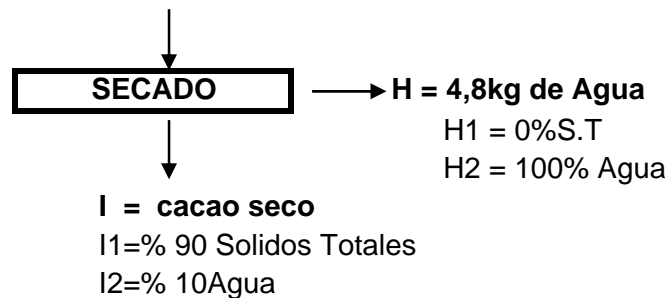
$$x = 53,33\% \text{ de solidos totales}$$

**BALANCE EN EL SECADO**

**G = 11,78Kg. granos de cacao**

G1= 53,33% Solidos Totales

G2= 46,67% Agua



**Balance General**

$$F - G = H$$

$$H = 11.78 - 4,8$$

$$H = 6,98\text{Kg de granos de cacao}$$

**BALANCE DE SOLIDOS TOTALES**

$$6,98(x) = 11,78(0,5333) - 4,8(0)$$

$$x = 6,28/6,98$$

$$x = 90\% \text{ de solidos totales}$$

**4.2.1 Porcentaje de rendimiento de masa en mazorca.**

Tomando en consideración la base de cálculo que experimentalmente fueron diez Kilogramos de mazorca de cacao.

Masa inicial	100%
Masa final (Pepa de cacao seca)	X

$$M_o = 10\text{Kg}$$

$$M_i = 1,23\text{Kg}$$

$$X = \frac{1,231\text{Kg} \times 100}{10\text{Kg}}$$

**X=12.3% rendimiento en mazorca.**

### 4.3 Balance de energía

	h2o	solido		
Masa Producto entrada:	11,78	46,7%	53%	100%
Masa Producto salida:	6,98	10,0%	90%	100%

#### Humedad Absoluta 1 (Aire de entrada)

$$w1 = 0,622 \left[ \frac{\frac{\phi}{101 - \phi} \left[ \frac{P. \text{°T. aire}}{P. \text{°T. aire}} \right]}{\left[ \frac{\phi}{\phi} \left[ \frac{P. \text{°T. aire}}{P. \text{°T. aire}} \right]} \right]} \right]$$

25°C

$$w1 = 0,622 \left[ \frac{0,9 \left[ \frac{3,169}{3,169} \right]}{\left[ \frac{0,9}{0,9} \left[ \frac{3,169}{3,169} \right]} \right]} \right]$$

$$w1 = 0,018074826 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Aire Seco}}$$

#### Humedad Absoluta 2 (Aire de salida)

$$w2 = 0,622 \left[ \frac{\frac{\phi}{101 - \phi} \left[ \frac{P. \text{°T. aire}}{P. \text{°T. aire}} \right]}{\left[ \frac{\phi}{\phi} \left[ \frac{P. \text{°T. aire}}{P. \text{°T. aire}} \right]} \right]} \right]$$

70°C

$$w2 = 0,622 \left[ \frac{0,25 \left[ \frac{31,19}{31,19} \right]}{\left[ \frac{0,25}{0,25} \left[ \frac{31,19}{31,19} \right]} \right]} \right]$$

$$w2 = 0,052037714 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Aire Seco}}$$

$$M2a + M3p = M4a + M5p$$

$$\begin{array}{rclcl} M4a = M2a & 11,78 & - & & 6,98 \\ M4a = M2a & + & & 4,80 & \end{array}$$

$$M2(0,008) + 75(0,90) = M4(0,088) + 8,52(0,12)$$

$$M2(0,008) + 67,5 = (M2 + 66,48(0,088)) + 1,02$$

M2 = 133,97621	x	30%
M2 = 174,169073 kg		

La fórmula para el balance de energía de el sistema del secador es la siguiente:

$$Q = M_{pe}C_{pe}(T_{pe} - T_{pi}) + M_a[C_a(T_{ae} - T_{ai}) + \omega_{ai}(h_{ve} - h_{vi})] + M_{evap} \cdot (h_{ve} - h_{li}) + Q_{perdido}$$

En donde

- Q = Transferencia de calor que se necesita, en **KJ/h**
- $M_{pe}$  = Velocidad de flujo de masa del producto que sale, en **Kg/h**
- $C_{pe}$  = Calor específico del producto de salida, en **KJ/°C.Kg**
- $T_{pe}$  = Temperatura del producto a la salida, en **°C**
- $T_{pi}$  = Temperatura del producto a la entrada, en **°C**
- $M_a$  = Velocidad de flujo de masa del aire seco a la entrada en **Kg/h**
- $C_a$  = Calor específico a presión constante del aire seco, en **KJ/Kg.°C**
- $T_{ae}$  = Temperatura del aire a la salida, en **°C**
- $T_{ai}$  = Temperatura del aire a la entrada, en **°C**
- $\omega_{ai}$  = Humedad absoluta del aire que entra, en **KgH<sub>2</sub>O/Kg A.S.**
- $h_{ve}$  = Entalpía del vapor de agua en la salida del aire, en **KJ/Kg**
- $h_{vi}$  = Entalpía del vapor de agua en la entrada del aire, en **KJ/Kg**
- $M_{evap}$  = Velocidad de evaporación dentro del secador, en **Kg/h**
- $h_{li}$  = Entalpía del agua en la entrada del producto, en **KJ/Kg**
- $Q_{perdido}$  = Perdida de calor a través de las paredes, en **KJ/h**



$$Q = M_{pe} C_{pe} (T_{pe} - T_{pi}) + M_a [C_a (T_{ae} - T_{ai}) + w_{ai} (h_{ve} - h_{vi})] + M_{evap} (h_{ve} - h_{li}) + Q_{perdido}$$

Q	=	19847,488	KJ/h	
M <sub>pe</sub>	=	6,98	Kg/h	
C <sub>pe</sub>	=	1,66	KJ/Kg°C	
T <sub>pe</sub>	=	38	°C	
T <sub>pi</sub>	=	22	°C	
M <sub>a</sub>	=	174,1690728	Kg/h	
C <sub>a</sub>	=	1,0069	KJ/Kg°C	
T <sub>ae</sub>	=	70	°C	
T <sub>ai</sub>	=	28	°C	
w <sub>ai</sub>	=	0,018074826	Kg H2O/Kg A.S.	
h <sub>ve</sub>	=	2609,6	KJ/Kg	
h <sub>vi</sub>	=	2541,74	KJ/Kg	
M <sub>evap</sub>	=	4,80	Kg/h	
h <sub>il</sub>	=	92,33	KJ/Kg	
Q <sub>perdido</sub>	=	30%		
Q	=	19847,488 +		30%
Q	=	25801,735	Kj/h	
Q	=	7167,15	W	

### Área de diseño del secador

$$T_2 = 70 \text{ °C}$$

$$T_1 = 28 \text{ °C}$$

$$U = 70,71 \text{ W/m}^2\text{°C (Laboratorio)}$$

$$Q = U \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 7167,1 \text{ W}$$

$$Q = A \times U \times DT$$

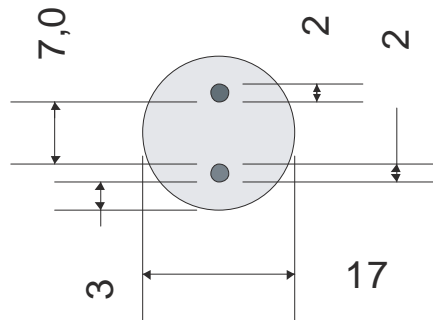
$$A = Q / U \times DT$$

$$A = \frac{7167,15 \text{ W}}{70,71 \text{ m}^2 \times 42 \text{ °C}}$$

A = 2,413 W/m <sup>2</sup> °C
-------------------------------

#### 4.4 Determinación del primer cilindro

**Grafico # 8**  
**Primer cilindro**



#### **Características:**

Material: Acero inoxidable perforado.

Superficie perforada: 40%

Longitud: 2,4m

Espesor: 0,8mm.

Separación entre tubos 7cm.

Diámetro del tubo de vapor: 2cm.

Separación entre el tubo y las paredes del primer cilindro: 3cm

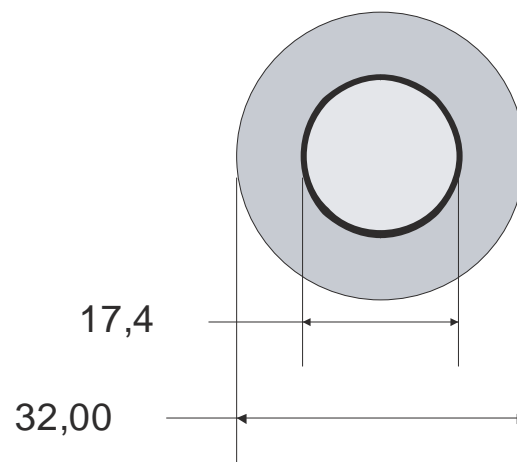
Diámetro:  $7 + (2 \times 2) + (2 \times 3) = 17$ cm.

Área superficial (60%):  $0,17\text{m} \times \pi \times 2,4\text{m} = 0,769\text{m}^2$ .

El objetivo de este cilindro es de evitar el contacto entre el cacao con las tuberías de vapor.

#### 4.5 Determinación del segundo cilindro

**Grafico # 9**  
**Segundo cilindro**



#### **Características:**

Material: Acero inoxidable perforado.

Superficie perforada: 40%

Longitud: 2,4m

Espesor: 0,8mm.

Diámetro del primer cilindro: 17,2cm.

Separación entre las paredes del primer y el segundo cilindro: 7,4cm

Diámetro del segundo cilindro:  $(2 \times 7,4) + 17,2 = 32\text{cm}$ .

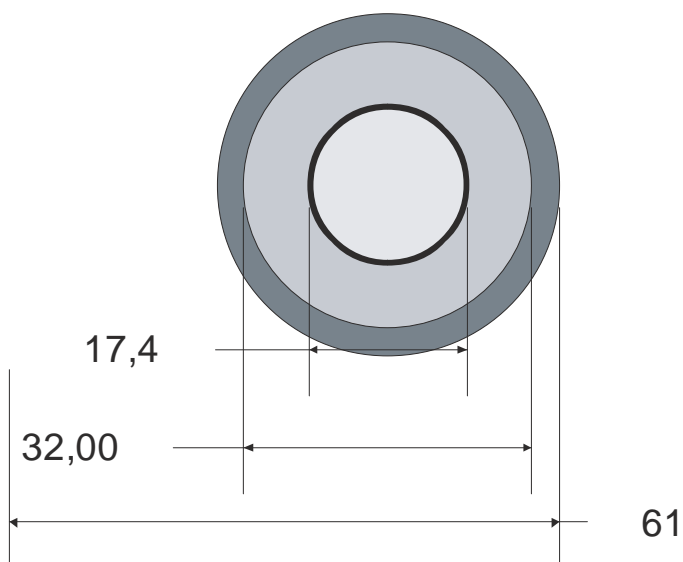
Área circular:  $(\pi/4)(0,32)^2\text{m}^2 = 0,08042\text{m}^2$

Área superficial (60%):  $0,32\text{m} \times \pi \times 2,4\text{m} = 1,45\text{m}^2$ .

El objetivo de este segundo cilindro es de mantener en rotación para obtener un correcto secado.

#### 4.6 Determinación del Tercer cilindro

**Grafico # 10**  
**Tercer cilindro**



#### **Características:**

Material: Tool

Longitud: 2,4m

Espesor: 1mm.

Diámetro del segundo cilindro: 32,2cm.

Separación entre las paredes del segundo y el tercer cilindro: 2,9cm

Diámetro del tercer cilindro:  $(2 \times 2,9) + 32,2 = 38\text{cm}$ .

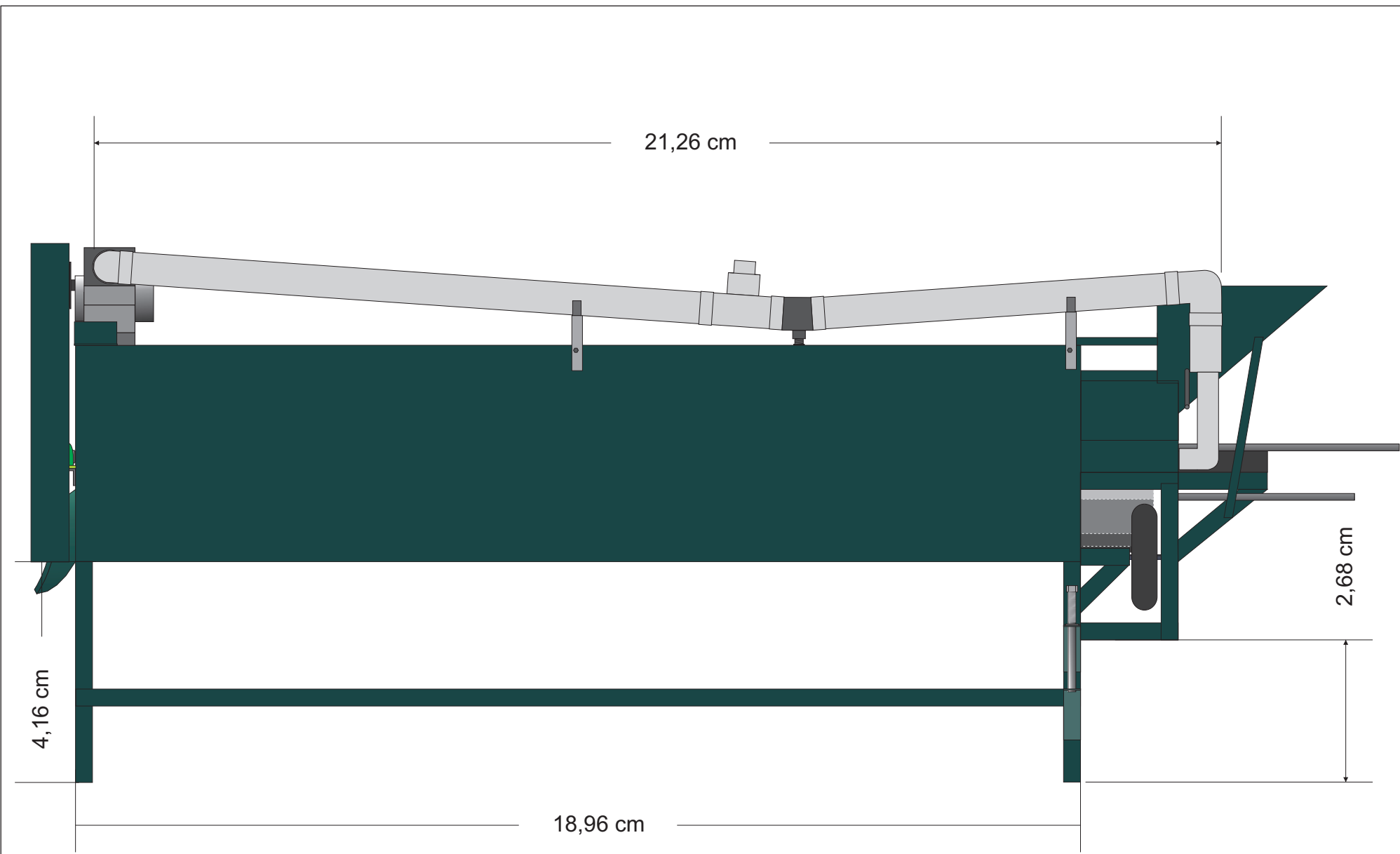
Área circular:  $(\pi/4)(0,38)^2\text{m}^2 = 0,11341\text{m}^2$

Área superficial:  $0,38\text{m} \times \pi \times 2,4\text{m} = 1,72\text{m}^2$ .

El objetivo de este tercer cilindro es de recoger todo el líquido que vaya desprendiendo el cacao

Este tercer cilindro va recubierto con lana de vidrio de un espesor de 1 pulgada para evitar la pérdida de calor.

# PLANOS DEL EQUIPO



VISTA LATERAL DEL SECADOR

REALIZADO POR:

TITO MERCHÁN

ESCALA :

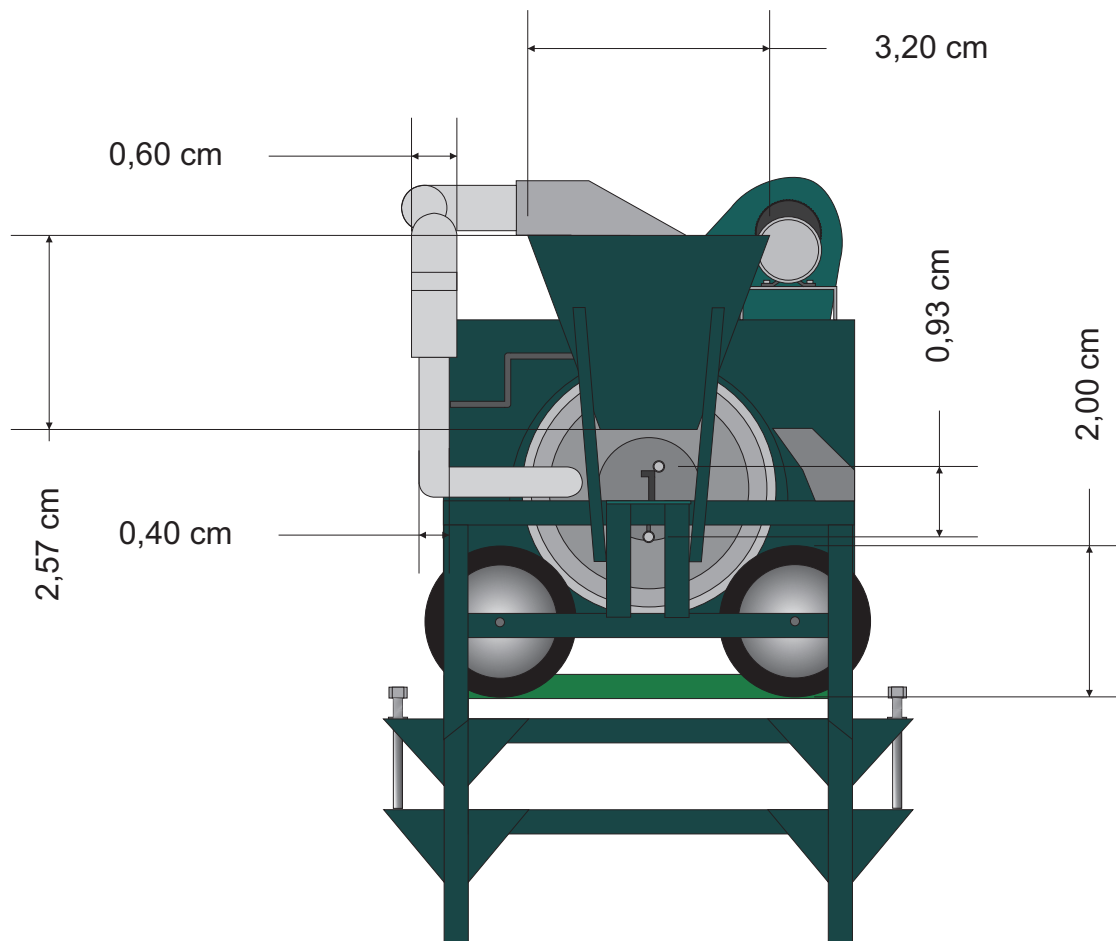
1:.....12.5

FECHA:

25/08/10

PLANO

1



VISTA FRONTAL DEL SECADOR

REALIZADO POR:

TITO MERCHÁN

ESCALA :

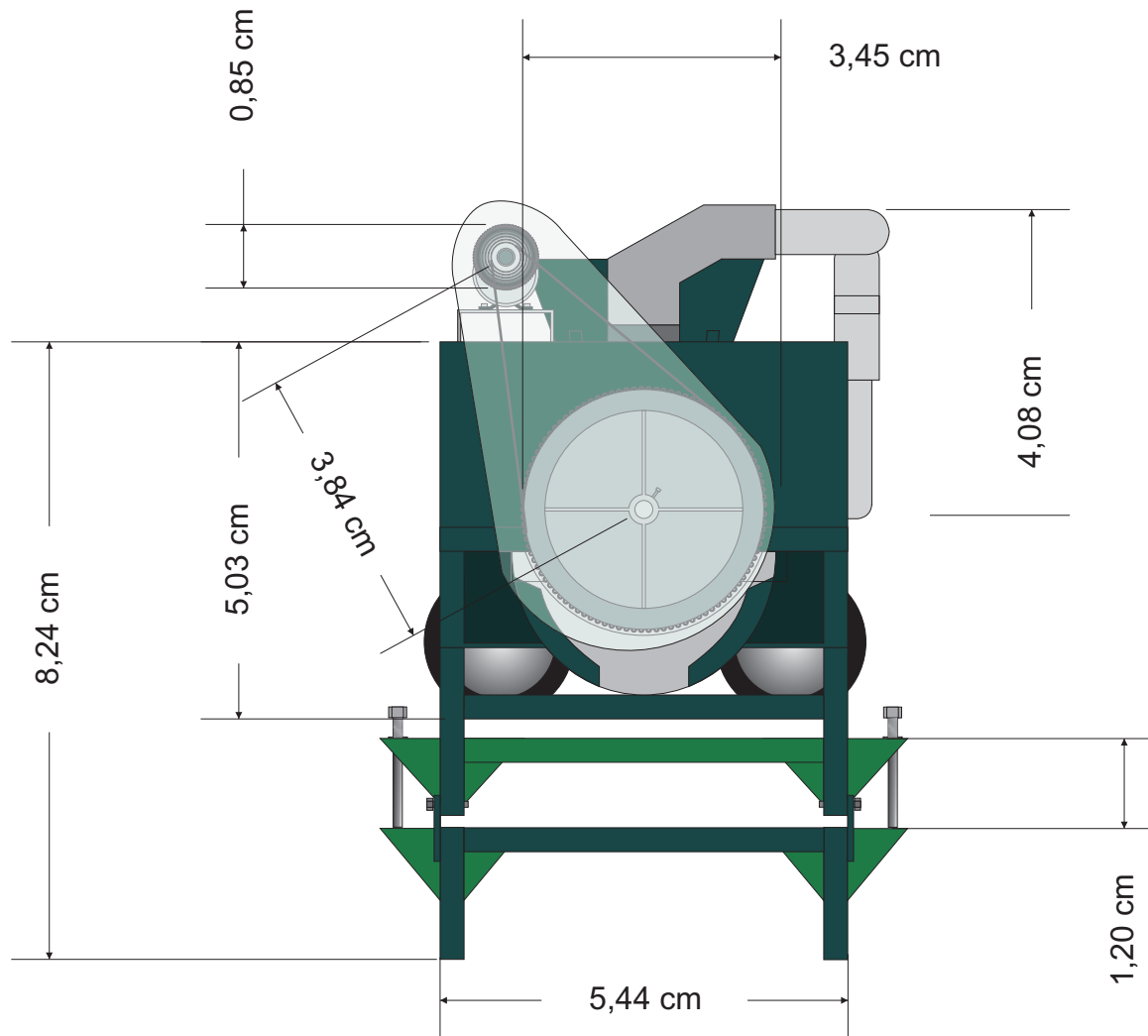
1:.....12.5

FECHA:

25/08/10

PLANO

2



VISTA POSTERIOR DEL SECADOR

REALIZADO POR:

TITO MERCHÁN

ESCALA :

1:.....12.5

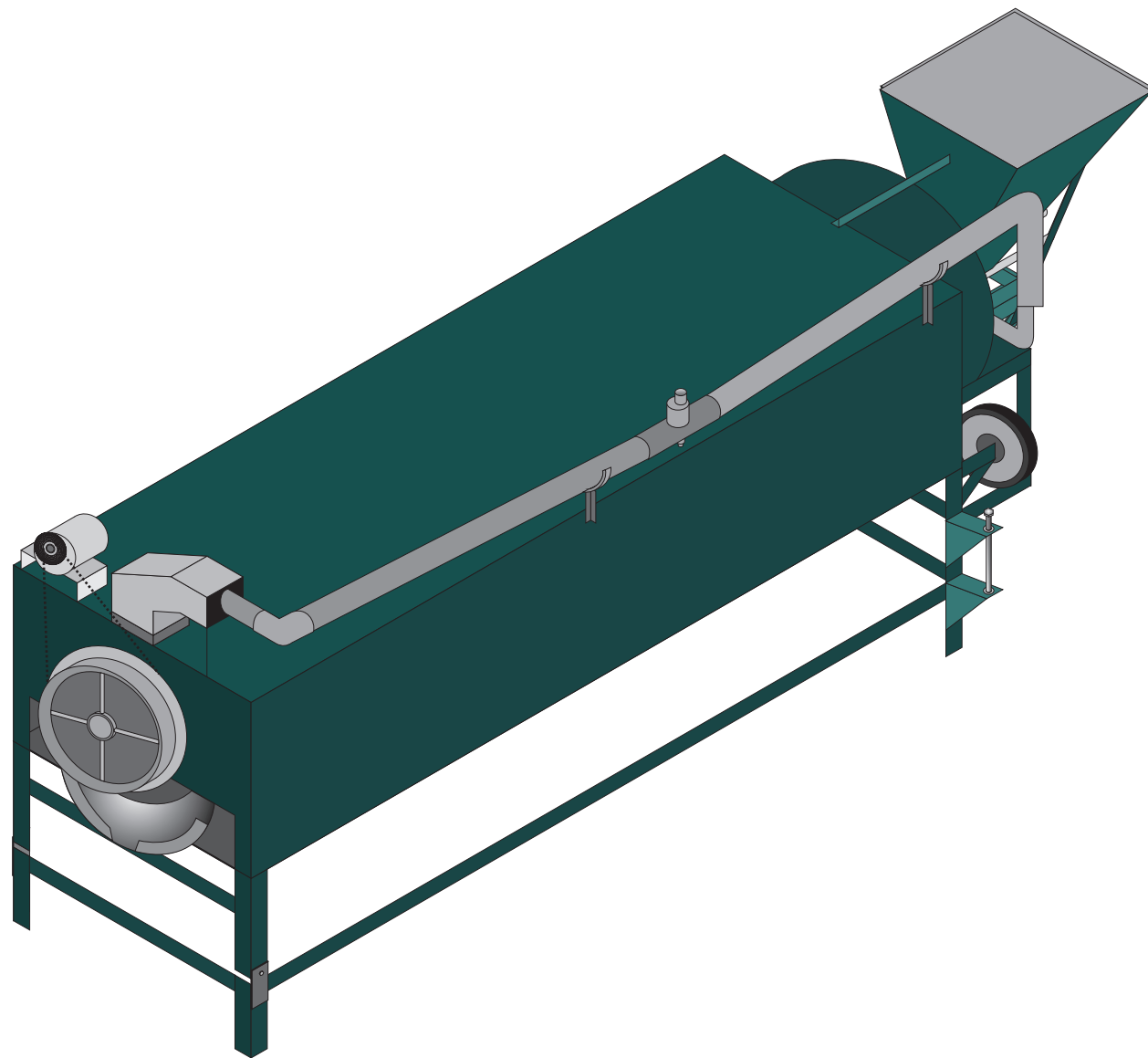
FECHA:

25/08/10

PLANO

3





VISTA 3D DEL SECADOR

REALIZADO POR:

TITO MERCHÁN

ESCALA :

1:.....12.5

FECHA:

25/08/10

PLANO

4

#### 4.7 Construcción del secador.

Los materiales empleados en la construcción del secador y sus respectivos costos están detallados en el siguiente cuadro.

**Cuadro#12**  
**Costo del equipo.**

CANTIDAD	DETALLE	P/UNITARIO	P/TOTAL
6	planchas de Toll galvanizado	12	72
2	planchas de acero inoxidable	230	460
3	tubos de vapor cedula 40 3/4" por 6m	13	39
1	tubo de cobre de 1/2" por 6m	25	25
6	planchas de lana de vidrio	5,4	32,4
1	platina de 1 1/2 por 3mm 6m	12	12
2	llantas de 25 cm diametro	15	30
1	valvula termodinamica de 1/2	110	110
1	valvula selenoidea de 1/	330	330
1	termocupla	12	12
1	relé	13	13
2	interruptores	9	18
1	manometro	11	11
1	tubo espiral de 1/2	6	6
6	codos de cobre	0,7	4,2
1	motoreductor de 1/2 Hp	320	320
1	ventilador pequeño	6	6
1	tuberia pvc	15	15
1	cadena de bicicleta	3	3
1	rache de bicicleta	1,9	1,9
2	litro de pintura verde	8	16
2	pernos de 0,25m por 1/2"	13,5	27
50	pernos de 1/4" por 3/4"	0,1	5
1	chumacera de 1/2	6	6
1	eje de hierro de 3/4	15	15
5	cable solido #8	2	10
1	mano de obra	950	950
6	angulos de 1 1/2" por 4mm	13	78
		<b>total</b>	<b>2627,5</b>

Fuente: Tito Merchán

##### 4.7.1 Armado del equipo.

Dentro del armado del equipo uno de los principales problemas fue la adquisición de los materiales como son las mallas perforadas de acero

inoxidable que se adquirieron en la ciudad de Guayaquil, además la mano de obra calificada, que no tenían experiencia en este tipo de equipo de secado, por tal razón el proceso de construcción demora más de lo normal, también dentro del proceso se determinó que los tipos de soldadura son especiales, soldadura Mic para las estructuras de soporte y para la unión de los cilindros de secado las sueldas de punto, de manera que estos no sean afectados por la corrosión y a su vez se dio un revestimiento de pintura anticorrosiva.

Por ser el cacao un producto con una baba en su superficie, la cual es difícil de eliminar, fue necesario modificar el equipo en varias ocasiones, una de las modificaciones fue la recirculación de aire a través de una tubería adicional y un ventilador para la extracción del aire.

La construcción del equipo se realizó en la ciudad de Santo Domingo, en la Coop. Río verde, en el taller industrial SV.A. (Servicios Varios Asociados)

#### **4.8 Puesta en marcha del equipo.**

Una vez que el equipo se construyó se procedió a realizar pruebas de secado para poder determinar si los datos del diseño son similares a los datos reales.

El primer dato que se obtuvo es el de la presión del caldero, el máximo de presión a la que llega el caldero es 40 psia., la cual en temperatura equivale a 131°C, en este equipo se encontró el primer problema para la operación del secador; El caldero tiene una fluctuación de presión muy alta, la presión llega hasta 40 psia. y luego baja hasta 20 psia. creando de esta manera un exceso de condensado y una elevada varianza de la temperatura.

En el equipo se tomaron los datos de la temperatura y flujo de aire, la primera llegaba al equipo con deficiencia, es decir que no calentaba toda la cámara de secado por lo que se debió agregar 6 metros de tubería de cobre de ½ pulgada para proporcionar más transferencia de calor, y así mantener la temperatura deseada dentro de la cámara.

El flujo de aire en un principio era nulo, es decir convección libre, principio que atrasaba el secado, por lo que se tomó la decisión de agregar un ventilador y

un ducto de aire para incorporar velocidad y recircularlo, de esta manera se logro llegar a las 8 horas de secado deseadas.

A continuación se detallaran los datos de secado obtenidos en el equipo:

### **Determinación de la masa de aire seco requerido para secar el cacao**

Datos tomados del equipo en funcionamiento:

**Masa del cacao al inicio del secado:** 11,78Kg.

**Temperatura de bulbo seco a la entrada del aire:** 25°C

**Temperatura de bulbo húmedo a la entrada del aire:** 23°C

**Humedad relativa del aire según la carta psicrométrica:** 90%

**Humedad absoluta del aire por carta psicrométrica:** 0,018Kg.h<sub>2</sub>O/Kg A.s.

**Masa del cacao al final del secado:** 6,98Kg.

**Temperatura de bulbo seco a la salida del aire:** 70°C

**Temperatura de bulbo húmedo a la salida del aire:** 45°C

**Humedad relativa del aire según la carta psicrométrica:** 25%

**Humedad Absoluta del aire por carta psicrométrica:** 0,05Kg H<sub>2</sub>O/Kg A.s.

Con estos dos datos obtenemos la masa de aire seco:

$$M \text{ aire} = \frac{M_{pe} - M_{ps}}{w_2 - w_1}$$

$$M_{\text{aire}} = 4,8 / (0,05 - 0,018)$$

$$M_{\text{aire}} = 141,18 \text{Kg}$$

A esta masa se le considera un 25% más por pérdidas en la cámara de secado

**Masa del aire requerido para secar el cacao:** 176,48Kg.

Los otros datos requeridos para la obtención del calor del secador son:

**Calor específico del cacao=** 1,66KJ/Kg°C

**Temperatura del producto al inicio=** 22°C

**Temperatura del producto a final=** 38°C

**Calor específico del aire seco=** 1,007 KJ/Kg°C

**Temperatura del aire al inicio=** 25°C

**Temperatura del aire al final=**70°C

**Entalpia del vapor de agua a la entrada=** 2547,2KJ/Kg

**Entalpia del vapor de agua a la salida=** 2626,8KJ/Kg

**Masa del agua evaporada=** 4,8Kg/h

**Entalpia del agua líquida en la entrada del producto=** 92,33KJ/Kg

Aplicamos la fórmula empleada en el diseño del secador y tenemos:

$$Q = M_{pe}C_{pe}(T_{pe} - T_{pi}) + M_a[C_a(T_{ae} - T_{ai}) + \omega_{ai}(h_{ve} - h_{vi})] + M_{evap} \cdot (h_{ve} - h_{li}) + Q_{perdido}$$

$$Q = [6,98\text{Kg/h} \times 1,66\text{KJ/Kg}^\circ\text{C} \times (38 - 22)^\circ\text{C}] + [176,48[1,007 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}( 70-25)^\circ\text{C}] + [0,018 \text{ Kg.h}_2\text{o/Kg A.s.}(2626,8 - 2547,2)\text{KJ/Kg}] + [4,8\text{Kg/h}(2626,8 - 92,33)\text{KJ/Kg}] + 30\%$$

$$Q = 185,39\text{KJ/h} + 8250,05\text{KJ/h} + 12165,46\text{KJ/h} + 30\%$$

$$Q = 20600,9\text{KJ/h} + 30\%$$

$$Q = 26781,17\text{KJ/h} / 3,6 \text{ W/KJ/h}$$

$$Q = 7439,21\text{W}$$

**Determinación del coeficiente de transferencia de calor global real.**

**Datos:**

$$T_1 = 70^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28^\circ\text{C}$$

$$A = 2,22\text{m}^2 \text{ (área de los cilindros)}$$

$$Q = 7439,21\text{W}$$

$$U = Q / A \cdot \Delta T$$

$$U = \underline{7439,21\text{W}}$$

$$2,22\text{m}^2 \cdot 42^\circ\text{C}$$

$$U = 79,78\text{W/m}^2\text{C}$$

### Calor generado por el vapor

Ciclos de encendido de la bomba por hora	2,00	
Tiempo de encendido de la bomba en min	0,35	min
Tiempo de encendido de la bomba en horas	0,01	h
Caudal de la bomba	2,20	m3/h
masa total (volumen)	0,01	m3
masa total/encendido (kg)	12,83	kg agua
masa x hora	25,67	Kg/h
hfg (121,3°C)	2708,17	KJ/Kg

Calor del vapor      69509,69667 KJ/h

Calor del vapor	19308,24907 W
-----------------	---------------

Perdida de calor por long de tuberia

Presion inicial	30 psi
Long de tuberia	24 m

Perdidas de presion por tuberias

$DP = Leq \times 2\text{psig} / 100\text{ft}$

Long total = 24m x 3,28ft/1m  
 Long total = 78,72 ft

Long. Equivalente =                      Lt + 0,1Lt                      =                      86,59

DP =                      86,59 ft                      x                       $\frac{2 \text{ psia}}{100 \text{ ft}}$

Presion final =                      30 Psi  
 Temp a 28,27psi =                      246,79 °F                      =                      119,32 °C

Hg a 110,3 °C =                      2705,28 KJ/Kg

Q de vapor final =                      69435,52 KJ/h

Q de vapor final =	19287,64444 W
--------------------	---------------

Q perdido por tuberias                      20,60 W

### Coeficiente de transferencia de calor de la tubería de vapor generada al equipo

Area de la tubería =

$$T_2 = 125 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$f_2 = 0,019 \text{ m}$$

$$L_T = 10,6 \text{ m}$$

$$A = p.f.L \quad \text{m}^2$$

$$A = 0,6327 \text{ m}^2$$

$U =$	$554,25 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$
-------	---

**Q generado por el caldero =** Calor de combustion del gas x Kg de gas por h

Calor de combustion del gas = 48000 KJ/Kg

Masa del gas consumida = 2,56 Kg/h

**Q generado por el caldero =** 122880,00 KJ/Kg

34133,33 W

**Q del vapor =** 19308,25 W

Eficiencia del caldero = 56,57%

### 4.9 Costo del secado

En el proceso de las 8 horas de secado, se consumieron 16Kg de gas, el costo del cilindro del gas es \$2,25 entonces:

1 cilindro = 12,5Kg de gas

1 cilindro cuesta = \$2,25

$\$2,25/12,5\text{Kg} = \$0,18/\text{kg} \times 16\text{Kg} = 2,88$  dolares por bach de secado.

El bach es de 2,5Kg de producto teniendo un costo de \$1,15 por Kg de producto seco, siendo este costo muy elevado dado la poca eficiencia del caldero por la pérdida de presión.

En base a experiencia en secadores de la zona de santo domingo de los colorados en la parroquia el esfuerzo km 19 vía a Quevedo se logro determinar



que el costo real es de diez dólares americanos por cada 45 Kg equivalente en libras 100 Lb. O sea en forma comercial un quintal.

#### 4.10 Análisis de la puesta en marcha

Se verifico si el diseño estaba acorde a las necesidades del secado real, además se verifico que la presión de trabajo no fue la apropiada debido a un mal rendimiento del caldero, teniendo que realizar algunas modificaciones para adaptar el equipo al caldero, fueron necesarios 30 minutos de precalentamiento para que el equipo trabaje con los parámetros adecuados.

El caldero tenía un intervalo de presión de veinte PSI. Empezaba a trabajar con 20 PSI hasta llegar a 40 PSI. Después se apaga hasta bajar la presión a 20 PSI. Lo que implica que en ese tiempo el agua del caldero se enfría y luego empieza a calentar por lo que consumía mucho gas.

En prácticas reales en la empresa EPACEM de la zona determinamos, que en los procesos industriales, la presión es constante para poder mantener una temperatura uniforme, por lo tanto la pérdida de calor es menor.

Entre el Coeficiente de transferencia de calor global teórico y práctico hubo un porcentaje de error de 11%, se considera aceptable, ya que las planchas de acero inoxidable tienen medidas exactas y resultaba antieconómico soldar un tramo más para alcanzar el área ideal.

#### Cuadro#13

**Tabla comparativa entre el secado al natural y el secado artificial**

Basado en una base de calculo de 30qq		
Parámetros	Natural	Artificial
Tiempo de secado	24 h	8h
Humedad final	12%	10%
Temperatura de secado	25 - 30°C	60 - 70°C
Mano de obra	1 jornal	0,25 jornal
Area de secado	Grandes areas para poder secar	Solo el area para el secador
C. Organolepticas	Buen aroma	Buen aroma
Observaciones	Depende de las condiciones climaticas	No depende del clima

Fuente: Merchán Tito/Finca San Ángel/2010.

#### 4.11 Manual de operación.

- ✚ Prender el caldero.
- ✚ Esperar hasta que exista vapor en este caso que la presión este a 40 PSI. la cual da una temperatura de 139°C Para que la transmisión de calor se optima.
- ✚ Nota: la presión en los calderos debe ser constante o debe tener un diferencial de 5 PSI máximo o el distribuidor de vapor debe tener una presión constante.
- ✚ En este caso el caldero de la UTE tiene un diferencial de 20 PSI. Lo que influye en que demora en generar vapor de agua y el caldero suministra mucho condensado. Por lo que existe pérdida o disminución de temperatura.
- ✚ Esto desde que se prende el caldero hasta que tenga vapor toma un tiempo de media hora dependiendo además de la fuente de calor del caldero.
- ✚ Una vez adquirida esta temperatura o presión, se conecta la maquina.
- ✚ Se enciende la maquina con los dos interruptores de encendido
- ✚ Se lo deja calentar durante media hora.
- ✚ Se coloca la temperatura con la perilla en el rango de 85°C para que en la cámara de secado exista los 70°C.
- ✚ Nota por fallas del caldero se debe colocar la perilla de temperatura primero en 35°C después de unos quince minutos se sube a otro rango puede ser de 50 – 60 °C y después a los treinta minutos y se lo sube a 85°C. esto por el diferencial que tiene el caldero caso contrario solo en dos pasos.
- ✚ Una vez la cámara de secado caliente se coloca el cacao previamente fermentado con 100 a 120 horas de fermentación. Caso contrario verificar otro tiempo de secado y otra temperatura sea para más o menos hora de fermentación que puede presentar el cacao.
- ✚ La compuerta de la tolva se la debe abrir en su totalidad las dos primeras horas, después se la cierra y se debe dejarla en un 25% del total de su abertura.

- ✚ Los pernos de la base del equipo deben estar nivelados de modo que la maquina este a nivel.
- ✚ En caso de que algunos granos salgan de manera inmediata es necesario volverlos a colocar esto pasa por que algunas pepas están malas
- ✚ Colocar un recipiente en la tolva de descarga.
- ✚ Esperar que pase 8 horas exactas y levantar la maquina con los pernos de nivelación. Esperar aproximadamente cuarenta minutos para que caiga todo el cacao.
- ✚ Una vez retirado el cacao se procede a sacar el vapor de la tubería y al último apagar la maquina esto ocurre en un tiempo aproximado de treinta minutos.
- ✚ Nota cuando ya se cumpla las ocho horas ya se puede apagar el caldero porque este tiene vapor.

#### **4.12 Mantenimiento**

- ✚ Se apaga la maquina y cuando este fría retirar la tolva y se procede a cepillar usando un cepillo de plástico humedecido y de cerdas duras
- ✚ No usar cepillo de alambre o hierro porque pueden dañar la malla de acero inoxidable.
- ✚ Se debe utilizar el equipo de limpieza mencionado para la maquina.
- ✚ Se lo puede realizar antes de iniciar otro proceso.
- ✚ Se debe tener cuidado con la trampa termodinámica, ya que esta se llena de incrustaciones, se la debe retirar para limpiarla.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

- ✓ se determino que el diseño del equipo es el ideal para el cacao por que en la práctica si elimina la parte húmeda del cacao.
- ✓ Se determino que los materiales del equipo son adecuados ya que ayudan a preservar las características organolépticas del cacao y no permite la oxidación, lo que implica contaminación, porque utilizamos acero inoxidable y además se logra obtener una buena transmisión de calor.
- ✓ Se logro controlar el tiempo y la temperatura en el equipo por ser un producto que varía en su composición física, por lo que podemos darle mayor tiempo o mayor temperatura por tal razón se utilizo sistemas mecánicos para este control.
- ✓ Se determino que la transmisión de calor se lo debe realizar por radiación. Por ser el más similar al secado natural esta por que penetra en la parte interna del cacao quedando así bien seco, ya que la parte interna de cualquier producto es difícil de elimina la humedad.
- ✓ Se dio la conclusión que el costo del secador es de costo normal por los requerimientos del cacao y además para la construcción del equipo no existe personal técnico para la construcción de estos equipos.
- ✓ Se determino el comportamiento del cacao en el secado y que el tratamiento es único para este esto en la curva secado además tomando en consideración sus propiedades físicas la cual presenta una baba de forma espesa lo que dificulta el proceso del secado.

- ✓ Se determino que para la construcción del equipo se necesita personal técnico y casi especializado por que el secador es semi automático, para el buen funcionamiento del mismo como lo es en nuestro caso.
- ✓ Se concluyo que no se puede aplicar cualquier tipo de secador por la composición física y química que presenta el cacao, es mas para cada producto se debe realizar un análisis previo, de todos sus componentes.

## **5.2 Recomendaciones.**

- ✓ Para realizar un diseño de maquinaria se debe investigar y conocer de alguna otra maquinaria del mismo tipo o casi igual en caso de no existir.
- ✓ Se debe realizar un análisis del producto a secar por que no todos los productos tienen el mismo comportamiento ni reacción que otros.
- ✓ Se debe analizar la capacidad que necesitamos producir con su debida proyección.
- ✓ En base a la capacidad comprar los materiales.
- ✓ Los secadores deben tener reguladores de temperatura por lo tanto sensores para mejorar su manejo.
- ✓ En caso del cacao el sistema de secado debe ser por radiación.
- ✓ La cámara de secado debe ser en acero inoxidable para evitar la corrosión.
- ✓ Evitar que la cámara de secado llegue humos de combustión del quemador.
- ✓ Se debe utilizar materiales que tengan mayor K. para mejor transmisión de calor.

- ✓ Tener cuidado con los intercambiadores de calor en la que puede existir contaminación.
- ✓ Determinar cuál es el tipo de secado para el producto a secar.
- ✓ Los balances de materia y energía deben ser rigurosamente analizados.
- ✓ Analizar cuál es la mejor fuente de calor para el proceso.
- ✓ Analizar los costos de los materiales.
- ✓ Revisar las válvulas del secador que estén en buen funcionamiento.

## Bibliografía

1. Atlas de la provincia de pichincha, 2002. Plan General de desarrollo provincial, tomo 1, primera edición. Pichincha, Ecuador. p. 190.
2. Arsdal, Van . (1942) Food Ind.
3. Batty J, Clair./ Fundamentos de la ingeniería de alimentos. Compañía editorial continental. México, 1990
4. Braudeau, Jean.--- el cacao/ Jean Braudeau.--México: Editorial Blume, 1981, 297, p.; il.
5. Blake Ronald P. (1990). Seguridad Industrial. Editorial Diana. México.
6. Cardarelli, A. 1999. Cultivos Tropicales. Editorial Mendieta. Ecuador. pp. 173 – 204.
7. Conejo. 1997. Cultivo y Beneficio del cacao. Editorial. El Conejo. Quito – Ecuador. pp. 11 – 131.
8. Folleto de Tablas y Graficas de Ingeniería de Procesos II (2005). UTE. Santo Domingo-Ecuador.
9. INIAP/Ing. Nely Paredes. Estación experimental central de la amazonía/Manual de cultivo de cacao para la amazonía ecuatoriana.
10. Kirk, Ronald S. Composición Química de alimentos Pearson. 2da edición México 2002.

11. Lomas, María del Carmen (2002). *Introducción al Cálculo de los procesos tecnológicos de los Alimentos*. Editorial Acibia. España.
12. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador seccional Santo Domingo
13. Morales Rodríguez Wistong (2006) *Elaboración de Pasta de Cacao de Aroma mediante la aplicación de procesos térmicos*, UTE. Santo Domingo, 2007
14. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 173:1987 Cacao en grano
15. Perry, Robert. H. (1992). *Manual del Ingeniero Químico*. 6ta edición. Editorial Graw - Hill. Tomo V. México.
16. Ramírez, Pedro GTZ-Programa GESOREN.
17. Steven, L. Solkman. (1983). *Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos*. Editorial Continental.
18. Soria, J. 1996. Principales Variedades de cacao cultivados en América Tropical. Costa Rica. pp. 261 – 266.
19. Suárez, C. 19987. *Manual de cultivo del cacao*. Quevedo – Ecuador. pp. 1 – 87.
20. *Técnicas de Procedimientos de Laboratorio* (2006). UTE. Santo Domingo - Ecuador.
21. Terranova. 1995. *Enciclopedia Agropecuaria, producción agrícola* 1, Tomo 2, Santa Fe de Bogota, Colombia, Terranova Editores. pp. 110 – 14.



22. Van Wylen, Gordon. (200). Fundamentos de la Termodinámica. Edición Limusa. Segunda edición. México.

### **Bibliografía De Internet**

23. <http://www.sica.gov.ec>
24. [http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien\\_Tico/103/Pablo.Htm](http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien_Tico/103/Pablo.Htm)
25. <http://www.unctad.org/infocomm/espagnol/cacao/plane.htm>
26. <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao2.asp>
27. <http://therepublicofchocolate.blogspot.com/2007/04/cacao-forastero.html>
28. [www.dopazochef.com/web/despensa/el20chocolate/elarboldelcacao.htm](http://www.dopazochef.com/web/despensa/el20chocolate/elarboldelcacao.htm)
29. <http://www.verema.com/opinamos/tribuna/articulos/levaduras02.asp>
30. <http://canal-h.net/webs/sgonzalez002/Micologia/LEVADURAS.appt.htm>
31. <http://www.opciones.cubaweb.cu/elasociado/oct10/cacao.htm>
32. <http://www.food-info.net/es/qa/qa-fp48.htm>
33. [http://www.geocities.com/seguridad\\_alimentaria/meofilos.rtf](http://www.geocities.com/seguridad_alimentaria/meofilos.rtf)
34. <http://es.wikipedia.org/wiki/Relay>
35. [www.flordebaba.com/NORMA T%C3%89CNICA ECUATORIANA NTE INEN 76 y 177](http://www.flordebaba.com/NORMA_T%C3%89CNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_76_y_177)

36. [www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap7/leccion76.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap7/leccion76.htm)
37. [www.ntnmexico.com.mx/pages/spanish/chumaceras.html](http://www.ntnmexico.com.mx/pages/spanish/chumaceras.html)
38. [www.rincondelvago.com/aleaciones-del-acero-y-aluminio.html](http://www.rincondelvago.com/aleaciones-del-acero-y-aluminio.html)
39. [www.canacacao.org/cultivo/fermentacion/](http://www.canacacao.org/cultivo/fermentacion/)
40. [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas\\_l.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5302/arti/farinas_l.htm)
41. [www.zchocolat.com/z34/chocolate/chocolate/el-arbol-de-cacao.asp](http://www.zchocolat.com/z34/chocolate/chocolate/el-arbol-de-cacao.asp)
42. [://mail.iniaecuador.gov.ec/isis/view\\_detail.php?mf=208&qtype=search&dbinfo=FICHAS&words=CACAO](mailto://mail.iniaecuador.gov.ec/isis/view_detail.php?mf=208&qtype=search&dbinfo=FICHAS&words=CACAO)
43. <http://es.wikipedia.org/wiki/Cacao>
44. <http://www.anecacao.com> (general)
45. <http://www.corpei.org> (general)
46. <http://www.ecuanex.net.cc/iniap/proyec> (general)
47. <http://www.icco.org> (general)
48. <http://www.mag.gov.ec> (general)
49. <http://www.inec.gov.ec> (estadística)

# ANEXOS

## Fotos

### Cultivo de cacao en la hacienda San Ángel



### Secado del cacao convencional en la hacienda San Ángel



## Pruebas de secado en el laboratorio



## Construcción del secador



## Equipo terminado





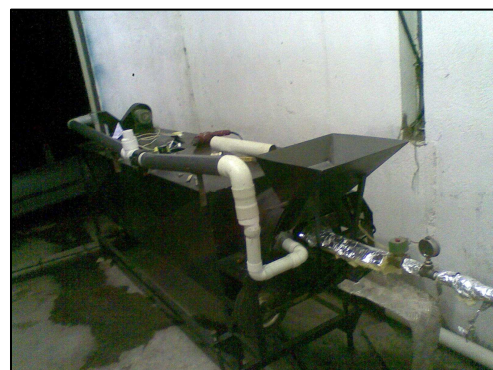
### Adaptación del ducto de ventilación



### Recepción del cacao



### Equipo trabajando





## Rodamientos



## Regulador de temperatura





**Vista Posterior**



**Vista Frontal**



**Pesado del Gas**



# TABLAS

TABLA 1

$T, ^\circ K$	$\rho$ $kg/m^3$	$c_p$ , $kJ/kg \cdot ^\circ C$	$\mu$ , $kg/m \cdot s$ $\times 10^5$	$\nu$ , $m^2/s$ $\times 10^6$	$k$ , $W/m \cdot ^\circ C$	$\alpha$ , $m^2/s$ $\times 10^4$	$Pr$
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
-300	1.1774	1.0057	1.983	15.68	0.02624	0.22160	0.708
-350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	28.86	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

<sup>a</sup>De Natl. Bur. Stand. (EUA) Circ. 564, 1955.

Los valores de  $\mu$ ,  $k$ ,  $c_p$  y  $Pr$  no son marcadamente dependientes de la presión y se pueden usar dentro de límites amplios de presión.



TABLE 2

Temp. °C <i>T</i>	Pres. kPa <i>P</i>	Volumen Especifico m <sup>3</sup> /kg		Energia Interna kJ/kg			Entalpia kJ/kg			Entropia kJ/kg·K		
		Liquido sat. <i>v<sub>f</sub></i>	Vapor sat. <i>v<sub>g</sub></i>	Liquido sat. <i>u<sub>f</sub></i>	Evap. <i>u<sub>fg</sub></i>	Vapor sat. <i>u<sub>g</sub></i>	Liquido sat. <i>h<sub>f</sub></i>	Evap. <i>h<sub>fg</sub></i>	Vapor sat. <i>h<sub>g</sub></i>	Liquido sat. <i>s<sub>f</sub></i>	Evap. <i>s<sub>fg</sub></i>	Vapor sat. <i>s<sub>g</sub></i>
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	1.510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	2.245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	2.966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	3.674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	4.369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	5.053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	5.725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	6.387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	7.038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	7.679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	8.312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	8.935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	9.549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
MPa												
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8835
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.194 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001 157	0.127 36	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001 164	0.115 21	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001 173	0.104 41	895.53	1703.9	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585
215	2.104	0.001 181	0.094 79	918.14	1682.9	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.318	0.001 190	0.086 19	940.87	1661.5	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.548	0.001 199	0.078 49	963.73	1639.6	2603.3	966.78	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2503
230	2.795	0.001 209	0.071 58	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	3.6047	6.2146
235	3.060	0.001 219	0.065 37	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.2	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.344	0.001 229	0.059 76	1033.21	1570.8	2604.0	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.648	0.001 240	0.054 71	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803.0	2.7472	3.3612	6.1083
250	3.973	0.001 251	0.050 13	1080.39	1522.0	2602.4	1085.36	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.0730
255	4.319	0.001 263	0.045 98	1104.28	1496.7	2600.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.688	0.001 276	0.042 21	1128.39	1470.6	2599.0	1134.37	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.081	0.001 289	0.038 77	1152.74	1443.9	2596.6	1159.28	1634.4	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.499	0.001 302	0.035 64	1177.36	1416.3	2593.7	1184.51	1605.2	2789.7	2.9751	2.9551	5.9301
275	5.942	0.001 317	0.032 79	1202.25	1387.9	2590.2	1210.07	1574.9	2785.0	3.0208	2.8730	5.8938
280	6.412	0.001 332	0.030 17	1227.46	1358.7	2586.1	1235.99	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001 348	0.027 77	1253.00	1328.4	2581.4	1262.31	1511.0	2773.3	3.1130	2.7070	5.8199
290	7.436	0.001 366	0.025 57	1278.92	1297.1	2576.0	1289.07	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001 384	0.023 54	1305.2	1264.7	2569.9	1316.3	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001 404	0.021 67	1332.0	1231.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001 425	0.019 948	1359.3	1195.9	2555.2	1372.4	1366.4	2738.7	3.3010	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001 447	0.018 350	1387.1	1159.4	2546.4	1401.3	1326.0	2727.3	3.3493	2.2737	5.6230
315	10.547	0.001 472	0.016 867	1415.5	1121.1	2536.6	1431.0	1283.5	2714.5	3.3982	2.1821	5.5804
320	11.274	0.001 499	0.015 488	1444.6	1080.9	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	2.0882	5.5362
330	12.845	0.001 561	0.012 996	1505.3	993.7	2498.9	1525.3	1140.6	2665.9	3.5507	1.8909	5.4417
340	14.586	0.001 638	0.010 797	1570.3	894.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.9	3.6594	1.6763	5.3357
350	16.513	0.001 740	0.008 813	1641.9	776.6	2418.4	1670.6	893.4	2563.9	3.7777	1.4335	5.2112
360	18.651	0.001 893	0.006 945	1725.2	626.3	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	1.1379	5.0526
370	21.03	0.002 213	0.004 925	1844.0	384.5	2228.5	1890.5	411.6	2332.1	4.1106	.6865	4.7971
374.14	22.09	0.003 155	0.003 155	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	4.4298

Las Tablas B-1 a B-10 adaptadas de Joseph H. Keenan, Frederick G. Keyes, Philip G. Hill, y Joan G. Moore, *Steam Tables* (Nueva York: John Wiley and Sons, Inc. 1969). Reimpresión de Gordon J. Van Wylene.

TABLA 3

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE METALES Y ALEACIONES \*  
 $k$  en Kcal/(hr) (m<sup>2</sup>) (°C/m)

$t$ , °C .....	0	100	200	300	400	500	600	Punto de fusión, °C
Aluminio.....	174	177	184,5	199	214,3	230,6		660
Latón (70-30).....	83,3	89,3	93,7	98,2	99,7			940
Fundición.....	47,6	44,6	41,7	38,7	37			1.275
Fundición con alto contenido en silicio.....	44,6							1.280
Cobre (puro).....	333,3	324,4	320	315,5	312,5	308	303,5	1.083
Plomo.....	29,8	28,3	26,8	26,8				327,5
Níquel.....	56,3	50,6	49,1	47,6				1.452
Acero suave.....		38,7	38,7	37,2	34,2	32,7	31,2	1.375
Acero inoxidable.....		14				18,5		
Estaño.....	56,3	50,6	49,1					231,85
Hierro dulce (sueco)...		47,6	44,6	41,7	38,7	34,2		1.505
Zinc.....	96,7	95,2	92,3	87,8	80,4			419,4

\* Tomada de Perry, pág. 456.

TABLA 4

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS GASES \*  
 $k$  en (Kcal) (m)/(m<sup>2</sup>) (°C) (hr)

Temp., °C	Aire	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Vapor H <sub>2</sub> O
— 18	0,0194	0,1357	0,0197	0,0194	0,0187	0,0113	
0	0,0208	0,1435	0,0211	0,0206	0,0199	0,0125	
10	0,0214	0,1479	0,0218	0,0212	0,0205	0,0131	
38	0,0233	0,1595	0,0238	0,0230	0,0223	0,0148	
66	0,0251	0,1709	0,0257	0,0248	0,0241	0,0166	0,0178
93	0,0269	0,1818	0,0275	0,0263	0,0257	0,0186	0,0198
121	0,0285	0,1923	0,0294	0,0282	0,0273	0,0205	0,0215
149	0,0303	0,2028	0,0312	0,0299	0,0290	0,0224	0,0235
177	0,0318	0,2126	0,0328	0,0314	0,0305	0,0245	0,0254
204	0,0334	0,2221	0,0345	0,0328	0,0320	0,0266	0,0273
232	0,0351	0,2316	0,0363	0,0343	0,0334	0,0287	0,0294
260	0,0366	0,2407	0,0377	0,0358	0,0349	0,0308	0,0314

\* Calculados a partir de las ecuaciones dadas por Keyes, *Trans. ASME*, 73: 690 (1951); 74: 1303 (1952).

TABLA 5

CALOR ESPECÍFICO DE LOS GASES, Kcal/(kg) (°C) \*

Temp., °C	Aire	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Vapor de Agua
- 18	0,239	3,364	0,218	0,248	0,248	0,190	0,443
0	0,240	3,390	0,218	0,248	0,248	0,195	0,444
10	0,240	3,395	0,219	0,248	0,248	0,197	0,445
38	0,240	3,425	0,220	0,248	0,249	0,205	0,446
66	0,241	3,437	0,221	0,248	0,249	0,211	0,448
93	0,241	3,449	0,222	0,249	0,249	0,217	0,450
131	0,242	3,455	0,224	0,249	0,250	0,222	0,454
149	0,243	3,461	0,226	0,250	0,251	0,228	0,457
177	0,244	3,464	0,228	0,250	0,252	0,233	0,460
204	0,245	3,466	0,230	0,251	0,253	0,238	0,464
232	0,246	3,468	0,232	0,252	0,254	0,243	0,468
260	0,247	3,469	0,234	0,254	0,256	0,247	0,471

\* Tomadas de *Natl. Bur. Standards Circular 461 C: 298 (1947)*. Los valores para el aire se han calculado a partir de la tabla 2-10, NBS-NACA. Tablas de las Propiedades Térmicas de los gases (1949).

TABLA 6

NÚMEROS DE PRANDTL PARA GASES A PRESIONES PRÓXIMAS A LA ATMOSFÉRICA \*

Temp., °C	Aire	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	Vapor de Agua
- 18	0,721	0,718	0,717	0,725	0,742	0,772	1,112
0	0,716	0,715	0,713	0,720	0,738	0,770	1,103
10	0,713	0,712	0,711	0,717	0,737	0,769	1,098
38	0,705	0,707	0,707	0,711	0,731	0,764	1,086
66	0,702	0,700	0,706	0,705	0,727	0,759	1,073
93	0,695	0,694	0,703	0,700	0,724	0,752	1,063
121	0,692	0,688	0,703	0,696	0,722	0,746	1,054
149	0,689	0,683	0,703	0,692	0,720	0,739	1,045
177	0,687	0,677	0,704	0,689	0,720	0,734	1,038
204	0,686	0,673	0,706	0,688	0,720	0,725	1,031
232	0,684	0,668	0,708	0,686	0,720	0,716	1,025
260	0,682	0,664	0,710	0,686	0,721	0,709	1,020

\* Calculados por los autores a partir de los datos de los apéndices 2, 7 b y 8



TABLA 7

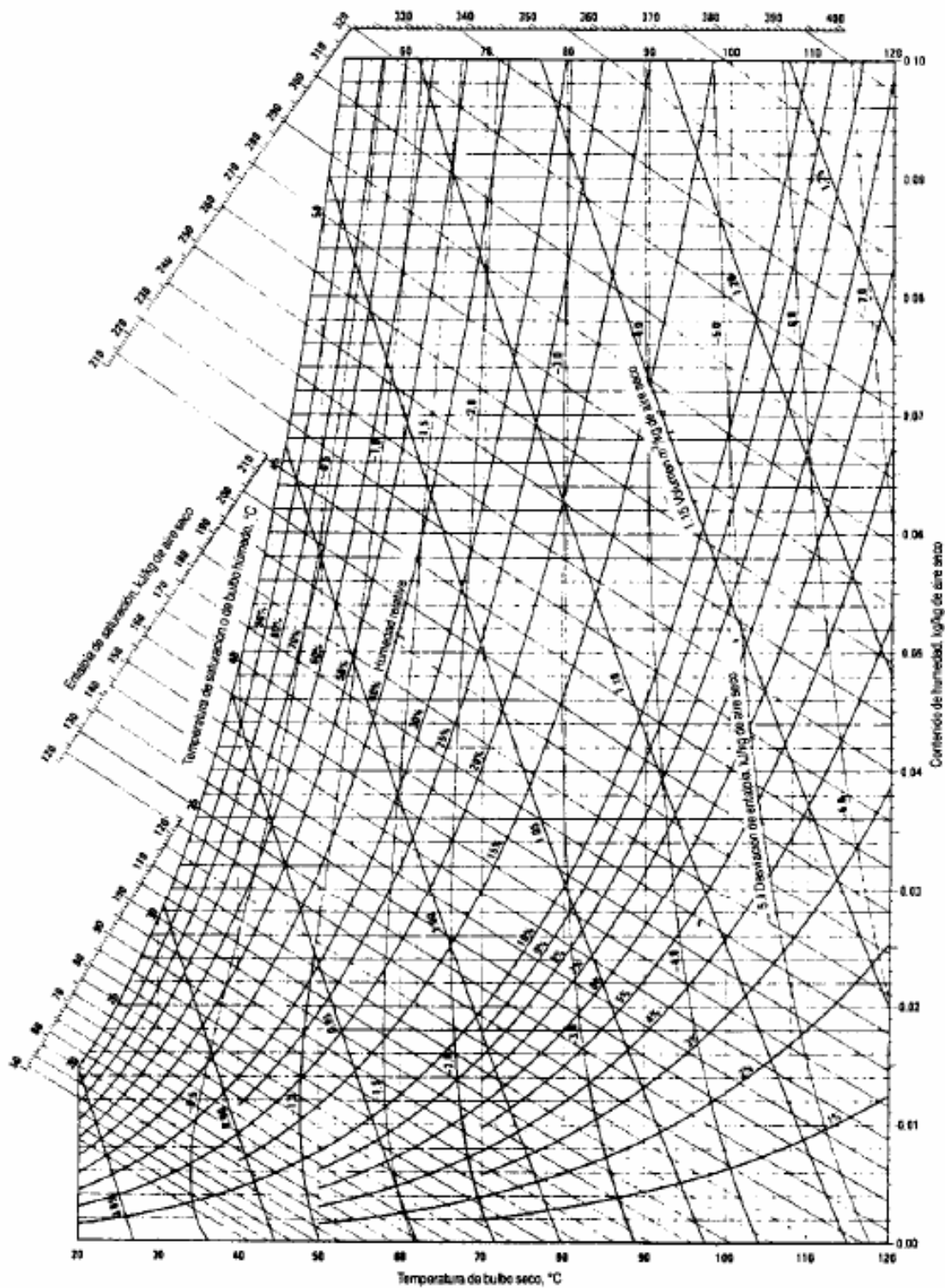
## PROPIEDADES DEL AGUA Y DEL VAPOUR SATURADO

Tem. °C	Presión abs. kg/cm <sup>2</sup> *	Calor latente de vaporización, Kcal/kg *	Volumen específico del vapor, m <sup>3</sup> /kg	Densidad del agua líquida, kg m <sup>3</sup>	Viscosidad del agua líquida, centipoises †	Conductividad térmica ‡ del agua líquida, (Kcal) (m) (°C) (m <sup>2</sup> ) (hr)	Número de Prandtl del agua líquida (adimensional)
0	0,006225	598	206	998,7	1,786	0,4767	13,60
1,6	0,007027	597,2	184	998,7	1,689	0,4798	12,76
4,5	0,008557	595,6	153	998,7	1,543	0,4857	11,50
7,2	0,01037	594,0	127,1	998,7	1,417	0,4902	10,44
10	0,01252	592,5	106,3	998,5	1,306	0,4962	9,50
13	0,01499	590,9	89,4	998,5	1,208	0,5006	8,70
16	0,01802	589,3	75,3	997,6	1,121	0,5066	7,98
19	0,02139	587,7	63,8	996,8	1,044	0,5111	7,36
21	0,02553	586,2	54,2	996,5	0,975	0,5155	6,81
24	0,03008	584,6	40,0	995,7	0,913	0,5200	6,32
27	0,03564	583,0	39,5	995,0	0,857	0,5245	5,88
29	0,04171	581,4	34,0	994,2	0,807	0,5290	5,49
32	0,04909	579,8	29,2	994,0	0,761	0,5334	5,13
35	0,05707	578,3	25,3	992,5	0,719	0,5364	4,82
38	0,06674	576,6	21,9	992,0	0,681	0,5394	4,54
41	0,07711	575,1	19,0	990,7	0,646	0,5424	4,29
43	0,08963	573,6	16,6	989,6	0,614	0,5468	4,04
46	0,10297	572,0	14,5	988,8	0,585	0,5498	3,83
49	0,1190	570,3	12,69	987,7	0,557	0,5528	3,63
52	0,1359	568,7	11,26	986,5	0,532	0,5558	3,45
54	0,1563	567,1	9,82	984,8	0,509	0,5588	3,28
57	0,1776	565,5	8,68	983,4	0,487	0,5602	3,13
60	0,2031	563,8	7,68	982,2	0,467	0,5632	2,98
63	0,2297	562,2	6,31	980,5	0,448	0,5647	2,86
66	0,2614	561,1	6,06	979,4	0,430	0,5677	2,73
69	0,2942	558,9	5,41	977,6	0,414	0,5692	2,62
71	0,3333	557,3	4,82	976,2	0,398	0,5722	2,51
74	0,3734	555,6	4,32	974,4	0,384	0,5737	2,41
77	0,4213	553,9	3,87	972,6	0,370	0,5751	2,32
80	0,4700	552,3	3,49	970,9	0,357	0,5766	2,24
82	0,5280	550,5	3,14	969,3	0,345	0,5781	2,16
85	0,5868	548,9	2,83	967,5	0,334	0,5796	2,08
88	0,6566	547,2	2,56	965,8	0,323	0,5811	2,01
91	0,7269	545,4	2,32	964,0	0,312	0,5826	1,94
93	0,8104	543,7	2,10	962,1	0,303	0,5841	1,88
96	0,8944	542,0	1,91	960,3	0,293	0,5841	1,82
99	0,9930	540,2	1,74	958,1	0,284	0,5856	1,76
100	1,033	539,5	1,67	956,0	0,281	0,5856	1,74
102	1,092	538,4	1,59	955,2	0,277	0,5856	1,72
104	1,208	536,8	1,44	954,2	0,270	0,5871	1,67
107	1,325	534,9	1,32	951,5	0,262	0,5871	1,62
110	1,461	533,5	1,21	950,2	0,255	0,5886	1,58
113	1,596	530,3	1,09	947,8	0,248	0,5886	1,53
116	1,756	529,4	1,019	945,6	0,242	0,5901	1,50
119	1,912	527,4	0,938	942,9	0,236	0,5901	1,46
121	2,097	525,7	0,863	940,3	0,229	0,5901	1,42
127	2,491	521,9	0,734	936,3	0,218	0,5901	1,36
132	2,943	518,1	0,628	931,8	0,208	0,5901	1,30
138	3,459	514,1	0,540	927,0	0,199	0,5901	1,25
143	4,047	510,1	0,466	922,2	0,191	0,5901	1,19
149	4,712	506,0	0,404	917,0	0,185	0,5901	1,16
154	5,46	501,8	0,3051	911,7		0,5901	
160	6,30	497,6	0,307	904,8		0,5886	
166	7,25	493,2	0,269	901,0		0,5886	
171	8,30	488,7	0,236	895,4		0,5841	
177	9,47	484,1	0,209	889,4		0,5811	
182	10,76	479,4	0,185	883,5		0,5781	
188	12,19	474,5	0,164	877,6		0,5766	
193	13,76	469,6	0,146	871,4		0,5737	
199	15,49	464,5	0,1301	864,8		0,5701	
204	17,39	459,3	0,1163	858,4		0,5692	

\* Condensada de Keenan «Tablas de vapor», American Society of Mechanical Engineers (1936).

† Calculadas por los autores a partir de *J. Appl. Phys.*, 15: 625-626 (1944).‡ Calculadas por los autores a partir de Schmidt y Sellochoop, *Forsch. Gebiete Ingenieurw.*, 3: 277-286 (1932).

TABLA 8  
 Tabla psicrométrica de 20°C a 120°C





# ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**CAMPUS ARTURO RUIZ MORA SANTO DOMINGO**

**REPORTE DE ANALISIS BROMATOLOGICO**

SOLICITANTE: SR. TITO MERCHAN  
 TIPO DE MUESTRA: PEPAS DE CACAO  
 DIRECCIÓN: UTE KM 4 1/2 VIA CHONE  
 IDENTIFICACIÓN: 1310  
 FECHA DE INGRESO: 18/05/2010  
 FECHA DE ENTREGA: 7/06/2010

**RESULTADOS :**

No. DE MUESTRA	IDENTIFIC.	HUMEDAD	CENIZA	GRASA	PROTEINA	FIBRA	E.L.N.N	ENERGIA
		%	%	%	%	%	%	KCAL/100gr
1310	PEPA DE CACAO	**	4.08	38.30	31.6	4.46	21.5	** BASE SECA
		51.80	1.96	18.46	15.24	2.15	10.4	235.7

**METODOLOGIA: AOAC**

**E.L.N.N** Elementos no nitrogenados.  
**HUMEDAD** Estufa -Secado a 105°C  
**CENIZA** Mufla-Incinerado 550°C  
**GRASA** Soxhlet solvente éter de petróleo  
**PROTEINA** Kjeldahl factor es 6,25  
**FIBRA** Método digestión ácido-básica

  
 \_\_\_\_\_  
**ING. ELSA BURBANO**  
**JEFE DE LAB. QUÍMICA**

  
**LABORATORIO DE QUÍMICA**  
**CAMPUS ARTURO RUIZ MORA SANTO DOMINGO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**CAMPUS ARTURO RUIZ MORA SANTO DOMINGO**



**REPORTE DE ANALISIS BROMATOLOGICO**

SOLICITANTE: SR. TITO MERCHANT  
 TIPO DE MUESTRA: PEPAS DE CACAO  
 DIRECCIÓN: UTE KM 4 1/2 VIA CHONE  
 IDENTIFICACIÓN: 1320  
 FECHA DE INGRESO: 18/10/2010  
 FECHA DE ENTREGA: 7/12/2010

**RESULTADOS :**

No. DE MUESTRA	IDENTIFIC.	HUMEDAD		CENIZA	GRASA	PROTEINA	FIBRA	E.L.N.N		ENERGIA
		%	**					%	%	
1320	PEPA DE CACAO	12.10	1.82	2.08	33.30	27.6	3.46	33.5	29.5	KCAL/100gr ** BASE SECA 372.7

**METODOLOGIA: AOAC**

E.L.N.N Elementos no nitrogenados.  
 HUMEDAD Estufa -Secado a 105°C  
 CENIZA Mufia-Incinerado 550°C  
 GRASA Soxhlet solvente éter de petróleo  
 PROTEINA Kjeldahl factor es 6,25  
 FIBRA Método digestión ácido-básica

  
 ING. ELSA BURBANO  
 JEFE DE LAB QUÍMICA



LABORATORIO DE QUÍMICA  
 CAMPUS ARTURO RUIZ MORA