



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS
PARA CARDAMOMO**

Wilson Lüdwig Wellmann Castro

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE
SECADORAS PARA CARDAMOMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

WILSON LÜDWIG WELLMANN CASTRO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

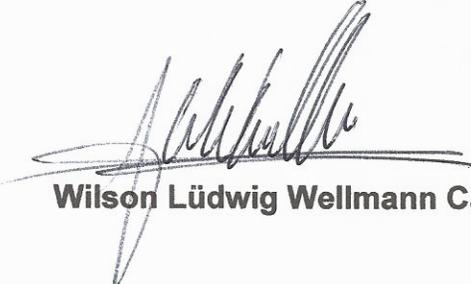
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Gerson Rafael López Chen
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS PARA CARDAMOMO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 5 de agosto de 2014



Wilson Ludwig Wellmann Castro

Guatemala, 16 de enero de 2015

Ingeniero.
Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado al estudiante Wilson Lüdwig Wellmann Castro, quién se identifica con carné No. 2007-14316, en su trabajo de graduación titulado: ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS PARA CARDAMOMO.

Para elaborar dicho proyecto, se brindará la asesoría técnica y profesional necesaria.

Sin otro particular, me es grato suscribirme a usted.

Atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Colegiado 3071



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.316.2014

El Coordinador del Área de Diseño, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS PARA CARDAMOMO**. Del estudiante **Wilson Wellmann Castro**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Alvaro Avila Pinzón
Coordinador del Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.29.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño, del trabajo de graduación titulado **ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS PARA CARDAMOMO**, del estudiante **Wilson Ludwing Wellmann Castro**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MA. Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



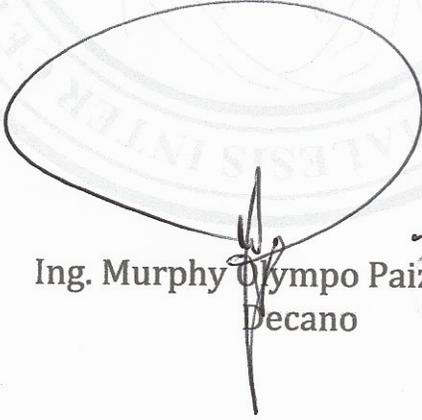
Guatemala, enero de 2015



DTG. 022.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS PARA CARDAMOMÓ**, presentado por el estudiante universitario **Wilson Lüdwig Wellmann Castro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 27 de enero de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por enseñarme a creer y cuidarme en cada paso de mi carrera.
Mis padres	Aroldo Wellmann y Corina Castro, por creer en mí y estar a mi lado incondicionalmente.
Mis hermanos	Por haberme brindado su cariño y apoyo siempre.
Mis sobrinos	Por concederme sus sonrisas y afecto en todo momento.
Mis amigos	Por siempre tener el entusiasmo de haber seguido hasta el final.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi segundo hogar.

Facultad de Ingeniería

Por guiarme durante todo este tiempo y haberme brindado nuevos conocimientos.

Mis catedráticos

Por haberme brindado sus lecciones y experiencias para prepararme para los retos que pone la vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL CARDAMOMO.....	1
1.1. Historia	1
1.2. Variedades	3
1.3. Procesos.....	6
1.3.1. Beneficiado del cardamomo	6
1.3.2. Secado natural.....	7
1.3.3. Secado artificial	7
1.3.4. Despulpado de los frutos	8
1.3.5. Secamiento por calor suplemental.....	8
1.4. Mercado.....	8
2. SECADORAS DE CARDAMOMO.....	13
2.1. Definición de secadora para cardamomo	13
2.2. Necesidad de la secadora para cardamomo	13
2.3. Tipos de secadoras de cardamomo	18
2.4. Capacidad de las secadoras	19
2.5. Según su capacidad	19

2.6.	Partes de una secadora de cardamomo y su funcionamiento.....	19
2.6.1.	Quemador de aceite diésel.....	19
2.6.2.	Ventilador	20
2.6.3.	Termostato	21
2.6.4.	Motor	21
2.6.5.	Generador eléctrico (cuando se usa motor diésel para mover el sistema).....	22
2.6.6.	Termómetro.....	23
2.6.7.	Fajas y poleas	23
2.6.8.	Bandeja	24
3.	COSTOS DE EQUIPO, MATERIALES E INSTALACIONES	27
3.1.	Selección de la pila	27
3.2.	Pila circular.....	27
3.3.	Pila rectangular	27
3.4.	Medidas de seguridad en el horno	28
3.5.	Ventilador	29
3.6.	Motor	30
3.7.	Quemadora	30
3.8.	Comparación de costos.....	30
3.9.	Instalación	32
4.	DISEÑO EXPERIMENTAL DE RECIRCULACIÓN	35
4.1.	Prueba con secadora estándar	35
4.2.	Ciclo del secado del cardamomo	36
4.3.	Diseño en pilas.....	37
4.4.	Análisis en la quemadora	39
4.5.	Análisis en el ventilador y embudo	40

4.6.	Pila y sistema de recirculacion	41
4.7.	Resultados de secadora estándar	42
5.	PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS SECADORAS	45
5.1.	Definición de los diferentes planes de mantenimiento.....	45
5.2.	Tipos de mantenimiento	45
5.2.1.	Mantenimiento correctivo.....	46
5.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	46
5.2.3.	Mantenimiento predictivo	47
5.2.4.	Mantenimiento proactivo.....	47
5.2.5.	Mantenimiento clase mundial	47
5.3.	Lubricación	48
5.4.	Vibraciones.....	48
5.5.	Termografía	49
5.6.	Definicion de rutinas de mantenimiento preventivo	49
5.7.	Recomendaciones de mantenimiento predictivo	51
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES.....	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	APÉNDICES	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Quemadora de diésel.....	20
2.	Ventilador.....	20
3.	Termostato.....	21
4.	Motor.....	22
5.	Generador eléctrico	22
6.	Termómetro	23
7.	Faja y polea	24
8.	Bandeja.....	24
9.	Cimentación típica de una secadora.....	33
10.	Secado de cardamomo 1	43
11.	Secado de cardamomo 2.....	44

TABLAS

I.	Características del cardamomo	5
II.	Ventajas y desventajas de una pila.....	28
III.	Ventajas y desventajas del ventilador.....	29
IV.	Comparación de costos de equipo	30
V.	Ventajas y desventajas de los tipos de combustibles.....	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grado centígrado
°F	Grado Fahrenheit
hrs	Horas
m	Metro
mm	Milímetro
qq	Quintales
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Beneficiado	Conjunto de procesos al que se somete el cardamomo para obtenerlo como producto de calidad para exportar.
Descolar	Proceso de eliminar los residuos del secado.
Pila	Lugar donde se coloca el cardamomo para ser secado.
Puntear el cardamomo	Se refiere al punto exacto cuando el cardamomo ya esta seco.
Quintal	Es una unidad de medida que se refiere al peso de un costal el cual llega a ser 100 libras.
Túnel	Se utiliza para transportar gases a bajas presiones.

RESUMEN

El proceso que se lleva a cabo para secar el cardamomo es muy necesario en su producción; este elimina la humedad en el producto y hace que el fruto llegue a durar más tiempo.

Durante el proceso de hacer que el cardamomo llegue a durar más tiempo, se fueron indicando distintos métodos para secarlo y en este estudio se mencionan los más importantes. Se puede mencionar que en su inicio se, experimentó con el secado al sol, con lo cual no resultó lo esperado; luego se construyó una recámara para hacerlo más eficiente mediante la suministración de aire caliente; con el tiempo se fueron adaptando distintas fuentes de energía y ventiladores, lo cual fue la base principal para las secadoras actuales. Ahora utilizan mejores fuentes de energía y ventiladores más eficientes.

Para mejorar el diseño de las secadoras de cardamomo se pensó en estudiar la forma de hacer más eficiente el proceso tratando, de hacer reciclar el aire que sale de la pila para mejorar el tiempo de secado y reducir los costos en el consumo de combustibles, como también analizar el tipo de ventilador que más convendría para aprovechar mejor el flujo de aire.

Se tomó en cuenta analizar los costos que significaría el tener una secadora que más convendría utilizar.

Para que todo esto funcione bien, se elaboró un plan de mantenimiento que ayudaría al usuario de este equipo, para que funcione perfectamente.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio para mejorar el diseño de secadoras para cardamomo.

Específicos

1. Diseñar un sistema de recirculación para las pilas.
2. Elaborar un estudio de materiales y equipo para la elaboración de las secadoras.
3. Describir los distintos tipos de secado del cardamomo.
4. Elaborar un plan de montaje y mantenimiento para el equipo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la economía ha afectado a la producción del cardamomo. Este trabajo de graduación tiene como resultado un estudio para mejorar el diseño de secadoras para cardamomo, con el fin de reducir los costos a la hora de producir el cardamomo seco.

En este se muestran distintos tipos de equipos que se utilizan para secar el cardamomo, aunque el principio de operación es el mismo para todas las secadoras.

Para entender mejor el proceso de secado, se analiza la forma en que la humedad relativa afecta el proceso de secado y cómo la temperatura y otros accesorios son necesarios; de igual manera si es posible realizar distintas variaciones.

Se mencionan y comparan también los distintos costos monetarios que poseen las distintas secadoras, según su precio de fabricación.

Por último, se sugieren observaciones para el mejor desempeño y mantenimiento que podrían tener las secadoras.

1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL CARDAMOMO

1.1. Historia

Uno de los reportes iniciales referente al cardamomo y su utilidad, data del siglo IV antes de Jesucristo. Puesto que se usaba como una variedad medicinal aromática señalada a curar padecimientos de la vía urinaria y para adelgazar.

En la primera época de la era Cristiana, Roma importó grandes conjuntos de cardamomo de la India. Era consumido como digestivo seguido de los grandes festines que eran suministrados a los romanos en esa época; igualmente formaba una de las especies más estimadas como condimento de la alimentación romana.

En 1914 fue introducido el cardamomo a Guatemala por el alemán Oscar Majus Kloeffer, quien laboraba en la finca Chinasayub (flor bonita) ubicada en Alta Verapaz.

El señor Majus Kloeffer nació en Alemania en 1871, viajó a Guatemala en 1894, estableciéndose en 1900, en la propiedad precedentemente indicada.

En 1914 solicitó a su padre que le remitiera desde Alemania unas semillas de cardamomo, las cuales se manipulaban para aromatizar medicinas. Su padre era farmacéutico. Fue así como obtuvieron e introdujeron las semillas de cardamomo al país, y hoy, después de 70 años, no solo se halla este cultivo en el norte del país, sino además en la costa sur, aunque en pequeñas cantidades.

La representación en que disponían del cardamomo en aquel tiempo era igual al café. Posteriormente de recoger el producto, lo dejaban fermentar en depósitos durante dos a tres días, inmediatamente era abatido por trabajadores en el propio tanque; para apartar la cáscara de la semilla, lavaban la semilla y ya por terminar le secaban al sol.

Las primeras libras fueron exportadas a Nueva York y Londres.

De la propiedad Chinasayub llegó a propagarse a las fincas vecinas, quienes lo producían a pequeña escala. El cultivo se generalizó entre los pequeños agricultores, quienes siguen sembrándolo hasta la fecha.

En 1948 se trasladó semilla de Cobán a la costa sur del país, para crear el primer sembradío extenso de cardamomo. En 1954, la siembra se extendió y desarrolló en fincas colindantes y con el paso del tiempo se fue a otras regiones de la costa sur.

Los costos caros que ha conseguido, han estimulado y activado un gran rendimiento entre los agricultores para sembrarlo; para los caficultores se ha constituido como un segundo cultivo de variación, de considerable valor.

El cardamomo es una planta perdurable procedente de la costa sur occidental de la India y de la isla de Ceilán, partes en que se desarrolla de manera silvestre en terrenos semiárido.

A inicios del siglo XIX no se sembraba esta variedad. Los lugareños recogían el producto de las plantas silvestres hasta que se terminaba. Pronto investigaban nuevas plantas en el lugar. En el presente hay sembradíos formados en la India, en los estados de Kerala, Mysore y Madrás.

1.2. Variedades

El calificativo botánico designado al cardamomo es *Elettaria cardamomum maton*, referente a la rama de las cingiberáceas. Tienen bastante parecido con el jengibre, ya que las dos corresponden a la misma rama, solo que el jengibre no pretende de sombra y el cardamomo no, si requiere de sombra.

Las matas de cardamomo tiene tubérculos o bulbos rollizos y de perfil irregular, de los cuales surgen las raíces, que alcanzan a tener una dimensión y 1 a 1.50 m de alto y 0.5 cm de diámetro; estas raíces se propagan, dividen, y sirven de soporte a la mata y al mismo tiempo juegan el papel de transportar todos los alimentos reconstituyentes del suelo a la planta, los cuales son atraídos por raíces supletorias de poco más o menos 1 cm. de largo.

En el segmento principal de los tubérculos, surgen los tallos vegetativos que alcanzan la altura de 4 a 5 m de extendido; su color es verde, en su base toma un color más o menos suave; en algunos casos, incluso blanco. El diámetro en la plataforma es de 3 a 5 cm. Las hojas están situadas en forma variada; poseen un perfil de lanza y logran un extendido de 70 a 80 cm y un ancho de 15 a 18 cm. Estas son de un tono verde oscuro en el fragmento principal y verde claro y belloso, en la porción posterior.

En los tallos vegetativos las hojas progresan perpendicularmente; con las espigas no es lo mismo, ellas desarrollan y crecen planamente; las espigas alcanzan a medir de 90 a 150 cm, y un diámetro en la base de 1 cm.

El pedúnculo de la corola es de color verde suave, y obtiene un color blanco resplandeciente, en el cual posee una pieza, con un pedazo primordial en tres labios, sépalos claros; en el intermedio posee una orilla verde suave.

La corola sí puede poseer tres pétalos, pueden ser atrofiados y el tercero puede tener 2.5 cm de largo por 2 cm de ancho; posee en el contorno un bicho con el margen rizado; su matiz es blanco, con franjas pintas en el intermedio.

Una perfecta tela rodea al pistilo, como que fuera una especie de manto; al otro lado del pétalo, hay dos sacos que sujetan el polen; entre ambos sacos hay una grieta. Del pistilo exclusivamente sobresale el estigma.

La polinización de la flor del cardamomo se hace por medio de insectos; es recomendable poseer en la plantación de cardamomo una crianza de abejas, con el fin de poseer una excelente y óptima polinización.

En la flor que no es polinizada, el ovario que ya asume el perfil del fruto, se torna color amarillo y cae. Esto es normal cuando hay dinámicos soplos una estación seca exagerada y prolongada.

Al final la planta de cardamomo tiene un tubérculo plano que cuenta con 8 o 20 tallos; que cría macollas en cantidades que varían de 2.5 a 3.5 m, y con un matiz verde suave. El tallo profundo es un rizoma con endurecimientos que exhiben una forma fibrosa.

El fruto se muestra en envolturas, constituidas por tres cámaras, con un estuche ovoide trilocular y de tres esquinas, de 10 a 20 mm de diámetro. Las semillas tienen un tamaño de 3 a 4 mm con formas angulosas y a veces piramidales, con la extensión ondulada y hendida transversalmente, con una funda delgada, despintada y membranosa. El matiz es oscuro en el exterior y claro en el interior, es perfumado y de saborcillo picaresco. En la pepita se hallan de 12 a 15 granos, por cada celda del fruto.

La planta de cardamomo, por el estado de siembra es durable y mientras no sea embestido por enfermedades, posee una existencia de 15 a 20 años. El cardamomo es una planta que se cataloga de acuerdo con diversos aspectos, entre los cuales se indican los siguientes:

Tabla I. **Características del cardamomo**

División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Magnoleophyta (angiosperma)</i>
Clase	<i>Lilia tea (monocotiledónea)</i>
Subclase:	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Cingiberales</i>
Familia	<i>Cingiberáceas</i>
Género	<i>Elattaria</i>
Especie	<i>Cardamomum</i>

Fuente: elaboración propia.

Las variedades que se utilizan comúnmente en la zona de las Verapaces y las cuales son de mayor calidad genética y económica son:

- Variedad Ceilán menor
- Variedad Ceilán mayor

De estas dos diversidades se tienen popularizados otras delimitadas en el área de Alta Verapaz.

- Clon Va. 1.79
- Clon Va. 4.79

La variedad Ceilán-menor se identifica por tener tallos florales en grandes cantidades, más pequeños, pero con frutos de que ofrecen un alto beneficio. Entre los géneros comerciales se hallan:

- Cardamomo oro
- Cardamomo blanco
- Cardamomo verde

1.3. Procesos

Son pasos que se le aplican al cardamomo para obtenerlo como producto.

1.3.1. Beneficiado del cardamomo

Se acostumbra que los frutos del cardamomo no lleguen a su período de madurez en el mismo lapso; el tiempo de recolección por lo regular se da en tres o cinco cosechas de acuerdo con su sazón, permaneciendo los frutos aún verdes para las cosechas últimas.

Después de la cosecha, los productos se someten a una fase de beneficiado. Hay diversos métodos para el procesamiento de las semillas, antes de llevarlas al mercado. Se mencionan ciertos procesos que fueron usados en diferentes tiempos y países: el almidonado, decolorado y el llamado curatorio; no obstante, son métodos que se han abandonado y actualmente ya no se emplean.

1.3.2. Secado natural

Es un procedimiento apropiado y sencillo, que se refiere a ubicar una capilla delgada del producto en un espacio que se acomode al conjunto de semillas que se quiere secar; para esto se colocan sobre planchas de lámina o bien sobre *nylon* bien extendido, en las cuales se coloca el fruto, donde le dé el sol. En unos casos se utilizan patios para secar el cardamomo. Con el secamiento al sol se obtienen excelentes resultados, pues se logra emblanquecer las cápsulas. En sí el proceso de secado demanda una constante vigilancia en su práctica, pues si se extiende el lapso de secado, siempre se corre el peligro de producir la abertura de las cápsulas.

Este método también llamado secado con aire del ambiente, se debe tomar en cuenta la humedad relativa como una medida muy significativa.

1.3.3. Secado artificial

Con este método se seca el cardamomo con aire caliente. Para esto se manipula otro tipo de secadoras, que utiliza diferentes materiales para su combustible los cuales pueden ser leña, diésel o gas kerosene. Cualquiera de estos ejemplos de secadoras trabajan con el mismo patrón, lo que quiere decir, que el aire calentado es transportado por un ventilador hacia un ducto, para salir a través de una pila que contiene encima el producto, el cual es deshidratado de esta manera para todo el proceso de secado, hasta conseguir el momento óptimo de humedad propuesto; los frutos se ponen en compartimientos que poseen un cedazo en la base para recibir el flujo del aire caliente que proviene del ventilador.

1.3.4. Despulpado de los frutos

Este método consiste en estrujar los frutos para conseguir el cardamomo oro. Para esto se necesita poseer un pulpero corriente; a este se le hacen unas modificaciones en la camisa, así no se pulverizan las semillas. Cuando se despulpa se ubica este en un depósito para fermentarlo, con el fin de quitar la melaza de las semillas; después la semilla es lavada, quedando la semilla pura; luego se seca en áreas donde son expuestas al sol para un mayor *comfort*; a la hora que se recoja el producto se coloca sobre lonas o cedazos, mediante este proceso se obtiene el cardamomo tipo oro.

1.3.5. Secamiento por calor suplemental

El calor se suministra en proporciones que pueden variar e ir de 10 °F a 20 °F.

1.4. Mercado

Al inicio de este mercado, cuando se empezó a sembrar el cardamomo, hasta 1950 el cardamomo era exportado en oro a los Estados Unidos y parte de Europa; es decir, la semilla en sí.

Después, cuando Guatemala comenzó a enviar a los países árabes y al norte de Europa, se elegía el cardamomo en distintas calidades:

- *Best quality*, el cual se enviaba a Medio Oriente
- *Mixed greens*, enviado a los países árabes
- *Mixed yellow*, se exportaba a Europa

En la actualidad existen diversas calidades a las antes mencionadas como por ejemplo:

- *Royal green*, que es mucho mejor que el primero
- *Prima green*, que es casi igual al segundo
- *Baby*, que consiste en un grano diminuto pero que posee calidad de primera

En otra época el cardamomo que pedían los árabes era el que era blanco; el cual era procesado con agua oxigenada, pero no obtuvo mucha demanda.

El cardamomo lo seleccionaban por densidad; cuanto más pesaba el grano, mayor era su precio; igual que el color; cuanto más oscuro, era mejor pagado, ya que han sido los más cotizados en el mercado

No se puede establecer una diferencia entre primera y segunda, ya que el producto varía con el nivel de la suelo donde se cultiva en tierra; si es un poco más caliente el clima, es mucho mejor el cardamomo; así también como en una tierra fértil, es mucho mejor; así que en terrenos donde está a cierta altura, se obtiene un producto de primera; mientras que puede ser de segunda cuando la tierra esté más baja.

Para seleccionar el cardamomo se procede de la siguiente forma: se toma cierta cantidad de libras de cardamomo y a las trabajadoras se les otorga ciertos recipientes por día. Se retira todo el cardamomo que se abre durante el secado; este se clasifica como de tercera; después se aparta el cardamomo que tenga un tono verde claro, esta se selecciona como de segunda, y el cardamomo verde en buen estado, es el que se denomina de primera.

Recién secado el cardamomo se pasa por un ventilador para retirar la basura y el polvo, se coloca en un cedazo de un cuarto de pulgada; para apartar el cardamomo pequeño; después se hace la respectiva selección de los granos, como se mencionó recientemente.

Para el cardamomo de grano pequeño se repite el proceso varias veces, separando el que se abre durante la secada, es verde claro; así solo queda el pequeño cerrado, y con un tono verde oscuro; este el cardamomo que llaman *baby* y que es de primera; los otros serán clasificados y denominados con su respectiva categoría: segunda y tercera.

En el norte de Europa se ha vuelto popular el consumo de cardamomo en países como Suecia, Finlandia, Noruega, Dinamarca, Alemania, Inglaterra, etc.; ellos lo utilizan para sazonar carnes, salchichones, jamón, etc., así también en repostería y galletas.

En Suecia elaboran unas galletas cuyo único ingrediente es el cardamomo; estas las consumen los marineros en sus viajes.

En proporciones menores lo ocupan para la medicina, en el tabaco, y en la perfumería. En Guatemala se utiliza para elaborar dulces y una que otra bebida.

Otros países como Estados Unidos, en menor cantidad; Rusia importa grandes cantidades de la India.

Los países árabes son los principales clientes de Guatemala, porque ellos consumen su mayor parte de producción. Ellos siempre exigen la mejor calidad del cardamomo. En Arabia Saudita el cardamomo es una de las especies que más se consume.

El cardamomo lo utilizan como una bebida que mezclan con café. Esto representa la hospitalidad árabe. Se lo ofrecen a todo visitante; lo preparan así: hierven el cardamomo en un recipiente y en otro ponen a hervir café, después lo mezclan en iguales cantidades, luego se lo sirven al visitante.

En estos países el cardamomo se vende por onza, y lo consumen como si fueran botanas, puesto que tienen el escepticismo que este puede actuar como un afrodisiaco.

Unos calculan que esta es la principal causa de que sean delicados a la hora de elegir la calidad del producto; se piensa que es por eso que pagan altos precios por su calidad.

Los países de Europa, a los cuales se les manda las calidades inferiores, lo consumen distinto, puesto que ellos lo trituran con todo y cáscara, embasándolo en polvo en recipientes de vidrio; y lo ofrecen en los supermercados, donde cualquiera puede acceder a él.

2. SECADORAS DE CARDAMOMO

2.1. Definición de secadora para cardamomo

Es una máquina que regula la humedad relativa con el fin de evaporar la humedad que contienen los granos de cardamomo cuando están recién cosechados, a manera de secarlos para que los mismos tengan mucho más duración.

2.2. Necesidad de la secadora para cardamomo

Al inicio el cardamomo era exportado a los Estados Unidos en oro, que corresponde simplemente a la semilla en sí.

En las primeras plantaciones en la costa sur se decidió utilizar la forma antes mencionada, pero conforme el paso de los años se buscaron otros mercados; así inició la exportación directa a Europa y a los países árabes.

Ellos deseaban que del cardamomo no se les enviara simplemente la semilla, sino que querían la cápsula, o sea el cardamomo en pergamino.

Los europeos no tenían tanta exigencia en cuanto a la forma en que se les enviaba el producto como los árabes, ellos querían el cardamomo seco de un color verde oscuro y de tamaño mayor.

Por ello a mediados de 1953, se decidió experimentar en la forma de cómo secar el cardamomo a manera de que se conservaran sus propiedades y no se fuera a descomponer para durar bastante tiempo.

Se inició secando el producto al sol en patios, donde era utilizado para secar café, o en cajones de un metro de ancho y dos de largo; pero esto no funcionaba porque perdía su color verde y se tornaba blanco.

Por eso se solía exportar a países que se interesaban más en el sabor y aroma que en el color.

En el primer horno de secamiento de cardamomo se tomaron las mismas medidas del horno donde secaban tabaco. El cual consistió en un cuarto hecho a base de ladrillos, de 3,65 m de largo por 3,65 m de alto y 3,65 m ancho.

Llevaba una puerta de medidas de 1 m ancho por 1,82 m alto; por esta puerta se pasaba un corredor y a sus lados llevaba estanterías de hierro a una altura de 2 pies del piso entre cada estante, hasta tocar el techo en cada estantería; se colocaron las bandejas de 72 cm ancho por 91 cm largo, con un fondo de cedazo fino, en las cuales se colocaba el cardamomo.

Al otro lado de la puerta, se construyó el hogar que da calor al horno. Este hogar va dentro del cuarto de ladrillos; el mismo era alimentado con leña en la parte exterior.

A ambos lados del hogar iban puestos dos tubos de lámina de 15 cm de diámetro, que pasan por debajo en el piso y se unen en un cajón; en la parte de exterior del lado de arriba de la puerta está la chimenea por donde sale el humo al exterior. Estos tubos son los que suministran el calor al horno.

Entre ambos lados del horno, en la parte inferior, es decir dónde está el piso, van unos agujeros de 15 cm por 25 cm, por donde pasa el aire, atravesando solamente alrededor de los tubos que se encuentran debajo de la estantería. En la parte superior se cortaron agujeros de 15 cm de diámetro, donde van ubicados tubos del mismo diámetro y de una altura de 60 cm.

La misión de estos tubos era succionar el aire que pasaba por las aberturas en la parte inferior; este aire se calienta al pasar por los tubos del calentador, luego a través de las bandejas evapora la humedad al exterior por los tubos colocados en el techo.

Conforme los años se fueron arreglando los diseños y se agregaron ideas sobre cómo colocar un doble techo a los hornos y absorber el aire con ventiladores; con el fin de que seicara más rápido, se aumentó el tamaño de los hornos para una mayor capacidad, y se usaron planchas de cemento refractario en los hogares, para que estos duraran más.

Así se fue perfeccionando el buen secado del cardamomo y se logró que el color fuera parejo, sin variar o reducir el verde que se esperaba.

Este modelo fue el que se utilizó durante mucho tiempo cuando se iniciaba el secamiento de este producto. Al paso de los años, el cultivo de cardamomo se desarrolló en partes del norte del país; con cada mejora que se le agregaba se iba haciendo un poco más costoso adquirirlo, por lo que se ideó la fabricación de un nuevo horno, del cual en la actualidad hay diferentes fabricantes. La idea principal se desarrolló en la India.

Este horno se fabricó en un contorno de blocks de 1,37 m por 4,57 m de largo y 0,6 m de alto, las cuales eran las medidas antiguas

En un lado de la recámara está cerrado, y en el otro se colocó un ventilador que suministra el aire del exterior y lo introduce a la recámara. Sobre esta van instaladas cajas de 1,4 m de largo por 0,9 m y 0,30 m, con una base de cedazo fino. El aire que entra a la recámara circula alrededor de las cajas de cedazo en donde se coloca el cardamomo, que según el grueso que este posea, seca el cardamomo en un periodo de 18 a 20 hrs.

El aire que entra en la recámara es calentado por un quemador diésel, el cual está situado a la par del ventilador. Este quemador debe estar en buenas condiciones; el diésel pasa por un filtro fino, para no producir humo, ya que este va directamente a la recámara y puede perderse fácilmente una partida debido al humo, si no se toman las medidas necesarias.

También para calentar el aire se ha utilizado un hogar al lado del ventilador. Este hogar tiene en la parte de superior diversos tubos de 6 cm de diámetro por donde pasaba el calor, saliendo a la parte superior por medio de una chimenea.

El ventilador administra el aire que pasa en la parte exterior de los tubos; esta los calienta, metiéndolo inmediatamente a la recámara.

Este hogar se aviva por medio de leña o por un quemador diésel. Con leña hay que estar constantemente revisándolo, porque cuesta mantener un poco la temperatura ideal, en ello influye el factor humano.

Para ello se utilizan radiadores que se colocarán a un lado de la recámara; consecutivamente se instala el ventilador; este administra el aire, lo pasa a través del radiador y posteriormente el aire caliente entra en el recámara.

Este radiador posee dos llaves, una de acceso y otra de salida del vapor. Mediante estas llaves se podría regular la temperatura requerida.

Este método utiliza las siguientes ventajas:

- No hay posibilidad de que se pierda producto en el proceso, por algún desperfecto del quemador.
- La temperatura es constante y uniforme en todo el proceso de secado.
- Es mucho más limpio el aire que se suministra.
- El personal podía atender dos cosas a la vez.

El proceso de secado del cardamomo es más fácil que el del café. El trabajador que corta o cosecha el cardamomo, previamente de entregarlo al beneficio, separa el cardamomo maduro del verde; así lo entrega para su secado. Ambas serán naturalmente secadas por aparte, pero en el mismo horno. Después de 40 a 48 horas de secamiento, se saca el cardamomo del horno, quitándole seguidamente la flor seca, lo que frecuentemente le citan como descolar. Esta flor seca aparece fijada al fruto que viene del campo.

Para realizar este trabajo, se utiliza tanto cardamomo como la cantidad que quepa en las dos manos. El roce de las palmas de las manos y el cardamomo hará que se quiebre la flor seca. Después se pasa por un ventilador que quita el polvo. Cuando se quiebra esta flor seca, fácilmente se separa del fruto; en este punto el cardamomo está en su punto de secamiento. También se usan máquinas para descolar, pero cierto porcentaje del producto se abre cuando pasan por esta. Con el tiempo tendrá que perfeccionarse un poco más.

2.3. Tipos de secadoras de cardamomo

Las diferentes secadoras frecuentemente utilizadas en el área en orden de calidad son:

- La secadora con combustión de leña
- La secadora con combustión de gas kerosene
- La secadora con combustión de aceite diésel

Podrían manejarse otros materiales para la combustión, como por ejemplo el gas metano, butano y carbón de piedra; no obstante, con la disposición de este tipo de combustibles en el país, no se les usa en las secadoras para cardamomo, probablemente por la complicación en la adaptación en la unidad de calefacción para quemarlas.

La secadora de cardamomo que más se utiliza en la región de Alta Verapaz es la que funciona a base de leña con un 84,4 %; en segundo lugar se encuentra la secadora de gas kerosene en un 12,2 % y la de diésel tan solo representa al 4,4 %; dentro de cierto tiempo puede que esta desaparezca por el precio del combustibles.

En las fincas que poseen beneficios en zonas de difícil acceso, se presta atención a la predilección por las secadoras de leña, por la abundancia de esta. Se cree que en el futuro las secadoras de leña y gas kerosene tengan mayor solicitud por parte de los beneficiadores, por tres razones:

- El quemador de diésel se deteriora más rápido
- Los equipos son mucho más completos
- El costo es más elevado que los quemadores de gas keroseno

2.4. Capacidad de las secadoras

Puede observarse que la medida o que el contenido que soportan las secadoras de cardamomo varía de 45 a 60 quintales recién cosechados. Esta varía por el área donde se produce; también puede determinarse por el nivel de la producción que se tenga por año.

2.5. Según su capacidad

Últimamente el tiempo de secado del fruto de cardamomo ha variado debido a que en los últimos años se ha utilizado más la secadora de leña; esta tarda un poco más a la hora de secar, porque puede llegar hasta las 40 horas para secar el fruto; esto varía según el uso porque cuando se tiene una producción muy alta, es conveniente tener dos o más secadoras.

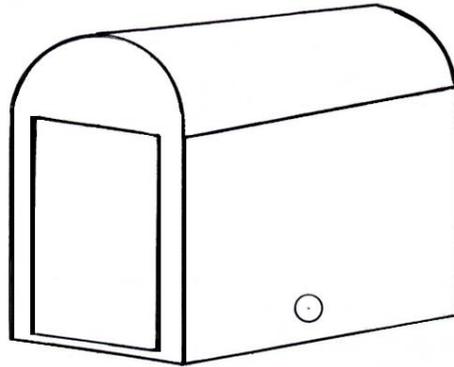
2.6. Partes de una secadora de cardamomo y su funcionamiento

Las secadoras de cardamomo de leña, kerosene o diésel llevan las mismas partes y tienen el mismo funcionamiento, excepto en la parte del quemador, es distinto por el tipo de combustible, el cual se tiene que modificar.

2.6.1. Quemador de aceite diésel

Popularmente se le conoce como dispositivos de calefacción. Es la unidad encargada de incinerar el combustible diésel. Esta tiene varias aberturas, las cuales hacen que gaste cerca de dos galones por hora; cerca de las aberturas se hallan situados dos varillas o electrodos que causan una chispa que prepara el paso de la ignición.

Figura 1. **Quemadora de diésel**

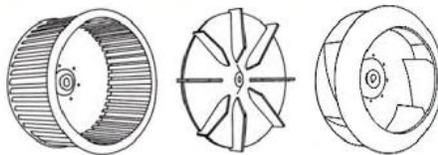


Fuente: elaboración propia.

2.6.2. **Ventilador**

Es utilizado para llevar caudales elevados de aire; posee aspas y tiene por objetivo la aspiración de aire polvoroso; también obliga a llevar el aire caliente a través del ducto a bajas presiones directo a la pila.

Figura 2. **Ventilador**



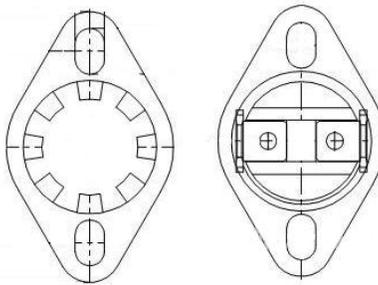
Fuente: http://www.unet.edu.ve/~maqflu/doc/LAB-1-128_2.gif.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.3. Termostato

Este aparato se ha implementado para llevar a cabo un control más sencillo, el cual abre o cierra un circuito que hace que se apague la llama del quemador, si pasa la temperatura que se estableció.

Figura 3. Termostato



Fuente: http://i00.i.aliimg.com/img/pb/748/911/481/481911748_090.jpg.

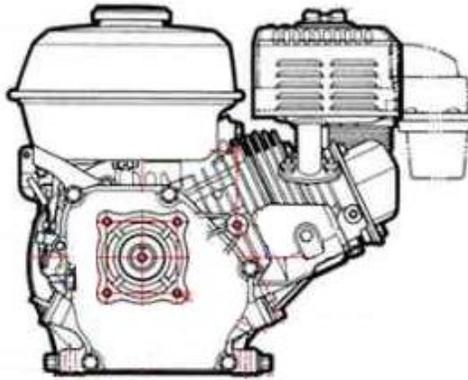
Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.4. Motor

Dependiendo del área, estos pueden ser eléctricos o diésel; el que más se utiliza en las secadoras es el motor diésel, porque la mayoría de las secadoras se encuentran en lugares donde no hay energía eléctrica.

Este tipo de motor se utiliza para hacer trabajo fijo donde puedan mover los ventiladores en las secadoras, por medio de fajas que van unidas a poleas.

Figura 4. **Motor**



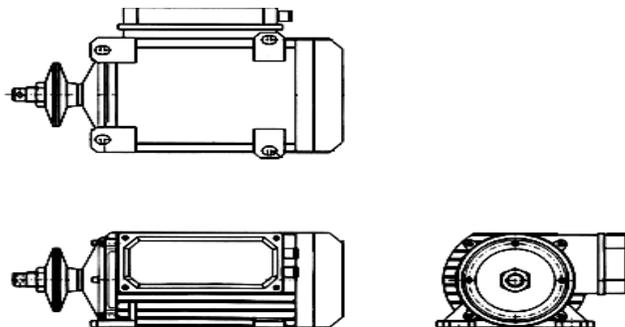
Fuente: http://img1.mlstatic.com/s_MLA_v_V_f_52906890_6240.jpg.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.5. **Generador eléctrico (cuando se usa motor diésel para mover el sistema)**

Este dispositivo se utiliza en las secadoras para poder hacer funcionar las quemadoras y el termostato, en las secadoras accionadas por quemador diésel.

Figura 5. **Generador eléctrico**



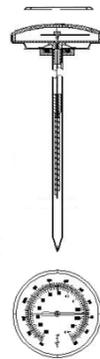
Fuente: http://www.motoreselectricos.es/variros/DatosTecnicos/BOSTAK_plano_cotas_online.gif.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.6. Termómetro

Sirve para medir la temperatura del flujo continuo de aire caliente que pasa por el ducto o túnel, el cual es revisado por el operario cada cierto tiempo.

Figura 6. Termómetro



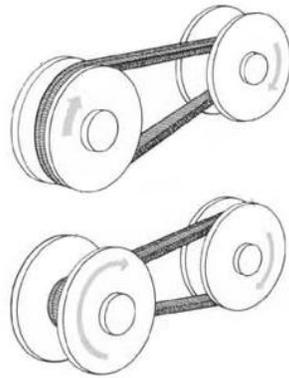
Fuente: http://i00.i.aliimg.com/img/pb/041/265/393/393265041_283.jpg.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.7. Fajas y poleas

Sirven para transferir por medio de rotación, la fuerza del motor al ventilador, en el cual las poleas pueden reducir o duplicar dicha fuerza, para darle mayor velocidad al ventilador o disminuirla.

Figura 7. **Faja y polea**



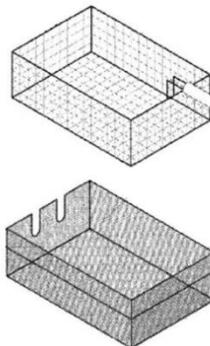
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/images-cajas-cambios2/cvt-poleas.jpg>.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

2.6.8. **Bandeja**

En este el cardamomo es colocado en la base, que es de cedazo, para que el aire caliente pase por él para evaporar el agua en el producto.

Figura 8. **Bandeja**



Fuente: <http://patentados.com/img/2010/08/bandeja.jpg>.

Consulta: 18 de noviembre de 2014.

Todas estas piezas se venden como unidades completas, lo único que se incorpora es el motor, que como se dijo, depende del área donde está ubicada.

Es el que se usa para transportar el aire caliente hacia todos los sectores de la pila; siempre es el mismo para los distintos tipos de secadoras y solo se modifica o añade otro ducto cuando se quiere tener dos o más pilas.

3. COSTOS DE EQUIPO, MATERIALES E INSTALACIONES

3.1. Selección de la pila

Para la selección de la pila a utilizar se tiene que analizar la producción en la región; si es necesario tener una o más pilas y si son pilas fijas o desmontables, también se tiene en cuenta la variación que se tenga en las cantidades de cardamomo producidas.

3.2. Pila circular

La mayoría de las pilas observadas en los beneficios son circulares. Las pilas para 50 qq tienen diámetros de 3 m. Están hechas de metal y se pueden desarmar en cuatro secciones para trasladarlas a lugares de difícil acceso. Esta pila con su embudo vale alrededor de Q 5 900,00.

3.3. Pila rectangular

Otra opción es una pila rectangular. Esta se puede construir de ladrillo, tierra concreto, o de block (puede ser block de 10 cm de ancho). El taller todavía tiene que comprar la lámina perforadora, los tubos para sostener la lámina, las compuertas, y el embudo. Los costos de esta pila están alrededor de Q 5 800,00.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de una pila**

Ventajas	Desventajas
Pila circular	
Se puede desmontar.	La pérdida de calor en las paredes de la pila debido al metal
Para utilizar una segunda pila solo se debe de reubicar la otra, no hay necesidad de cambiar de lugar el motor, ventilador y el quemador.	
Pila rectangular	
Retiene mas el calor	No se puede desarmar.
Da oportunidad de introducir modificaciones si se utiliza concreto	Tiene que rediseñarse todo si desea introducir otra pila
	Mucho más trabajo

Fuente: elaboración propia.

Las dos pilas funcionan casi igual; se tienen que estudiar bien las necesidades del proyecto para decidir cuál es mejor.

3.4. Medidas de seguridad en el horno

- Antes de limpiar el hollín que se forma en la tubería que va dentro del horno, se debe mantener apagado todo el equipo.
- Cuando se vaya a dar un servicio al horno se debe mantener una persona cerca para brindar auxilio en cualquier momento.
- El servicio se debe dar con la protección debida.
- De mantenerse el quemador libre de cualquier tipo de basura que pueda dañar el interior del horno y que pueda provocar fugas.

- Mantener los escombros de la leña u otros lejos del horno por que se pueden generar tropiezos.

3.5. Ventilador

En el ventilador es de gran importancia tomar en cuenta el tipo de ventilador que se va a utilizar, ya que varían debido a la cantidad de pilas con las que se van a trabajar.

Tabla III. **Ventajas y desventajas del ventilador**

Ventajas	Desventajas
Ventilador pequeño	
Precio bajo	Solo se puede adaptar a 1 pila. No es tan eficiente como el grande, usa más combustible para producir la misma cantidad de aire
Ventilador grande	
Se puede usar con una o dos pilas	Precio alto
Es más eficiente que el pequeño. Usa menos combustible para producir la misma cantidad de aire	

Fuente: elaboración propia.

Se recomienda el ventilador grande por dos razones: la primera porque siempre tiene la opción de añadir otra pila más. La segunda, porque el ventilador grande es más eficiente; utiliza menos combustible para la misma cantidad de aire.

3.6. Motor

El motor que se ha usa en las secadoras es de unos de 13 HP a 5 HP; dependiendo si se utilizarán una o dos pilas. Cuando es solo una con un motor de 5 HP es suficiente. Varían en precios por las diferentes calidades y marcas que existen.

3.7. Quemadora

Hay varias opciones de combustible para utilizar. Los costos, ventajas y desventajas están dados en la siguiente tabla.

Tabla IV. Comparación de costos de equipo

Tipo de combustible	Costo de equipo y accesorios	Precio de combustible	Promedio de combustible utilizado por secada de 50 qq	Promedio de costo de combustible por secada de 50 qq
Keroseno	Q 25 000,00	Q 34 el galón	55 galones	Q 1 870,00
Propano	Q 12 064,00	Q 540 las 100 libras	497 libras	Q 2 683,80
Leña	Q 34 000,00	Q 60 metro	4 metros	Q 240

Fuente: elaboración propia.

3.8. Comparación de costos

Se cambia de kerosene al diseño de leña, la diferencia en costo del equipo es Q 9 000,00, pero en cada secada se ahorra Q 1 630,00 en costos de combustible. Entonces, en 13 secadas, ya se paga la diferencia del costo del equipo con el ahorro de costos de combustible, y en cada secada siguen ahorrando Q 1 630,00, en costos de combustible.

Si cambia de propano al diseño de leña, la diferencia en costo del equipo es Q 21 936,00; pero en cada secada se ahorra Q 2 443,80 en costos por combustible. Entonces, en 5 secadas, ya se paga la diferencia del costo del equipo con el ahorro de combustible, y en cada secada después se sigue ahorrando Q 2 443,80 en costos de combustible.

Tabla V. **Ventajas y desventajas de los tipos de combustibles**

Ventajas	Desventajas
Leña	
Es una fuente de energía renovable	Deforestación
Disponibile localmente	La inversión inicial es mucha
Menos gastos de combustible a largo plazo	Ocupa mucho espacio en la instalación
El humo no afecta a la calidad del producto	
Propano	
No suelta humo para mejor calidad del pergamino	Transporte de los cilindros es complicado por el área
No hay deforestación	Se obtiene en distribuidoras
Inversión inicial es poca	Gasta tiempo
	Mas gastos a largo plazo
	No se conoce bien
Kerosene	
La inversión inicial es poca	Mas riesgo de que salga humo y no salga de buena calidad el pergamino
No produce deforestación	Mas gastos a largo plazo
Es más barato que el propano	Una fuente de energía no renovable

Fuente: elaboración propia.

Cuando el precio del cardamomo alcanza un precio alto, el del combustible se considera un porcentaje pequeño, con el fin de que la calidad del pergamino sea de las mejores. Pero cuando el precio del pergamino es bajo, es de suma importancia controlar la calidad de la leña y conseguir los mejores precios para este y los otros combustibles.

Las ventajas de la leña sobrepasan las ventajas de otros tipos de combustible porque se encuentra en grandes proporciones en la región y casi siempre esta se vende o comercializa en la misma región donde se produce; no hay necesidad de que esta sea abastecida por otro país; además de producirse en la región, es una fuente de energía renovable si se utiliza una parte; con el control adecuado de los bosques que año con año crecen, se puede aprovechar al máximo este tipo de energía de forma indefinida, llevando buenos planes de reforestación con el fin de economizar en combustibles, ya que es mucho más económico que los demás combustibles.

3.9. Instalación

Para poder realizar la instalación del equipo se debe analizar primeramente la cimentación en donde se instalará el equipo de secado, y para esto existen varios análisis para distintos tipos de cimentación.

También se debe de tener en cuenta la condición del suelo donde irá la cimentación.

A la hora de que se coloque la maquinaria se debe tomar en cuenta lo siguiente:

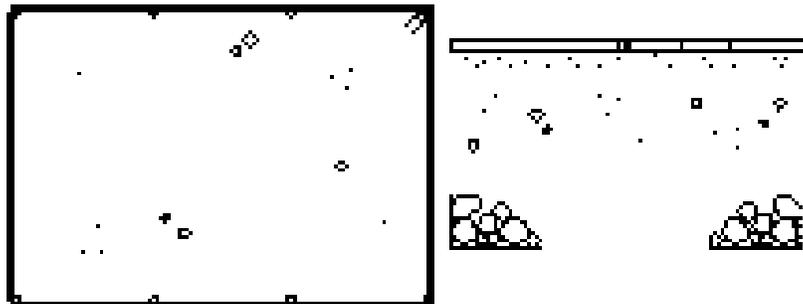
- El peso del producto
- El peso del equipo de secado
- Equilibrar las fuerzas producidas por el motor

Con estos factores se puede elaborar el cálculo, pues esta maquinaria no tiene movimientos.

La cimentación debe soportar la transmisión de vibraciones que ejercerá el motor, pero como este es mínimo, puede ser seleccionada sin tomar en cuenta la transmisión de vibraciones y puede cimentarse junto a la maquinaria relacionada con este.

Como se sabe que esta cimentación no requiere de muchos esfuerzos, más que el peso del equipo de secado y el producto, se puede pensar en una cimentación de 6 x 6 metros y dejando un pequeño espacio donde pueda colocarse el motor.

Figura 9. **Cimentación típica de una secadora**



Fuente: elaboración propia.

Como el diseño de este equipo no es tan complicado, el primer paso para su instalación es colocar el horno, después de que este se coloca adecuadamente se adapta el ventilador y el embudo (ver apéndices); seguido de esto se adapta el motor con sus respectivas fajas y poleas, y por último, pero no menos importante, se arma la pila.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL DE RECIRCULACIÓN

4.1. Prueba con secadora estándar

Para poder entender el proceso de secado del cardamomo se tiene que comprender cómo funciona una secadora de cardamomo.

La secadora de cardamomo aprovecha el calor que se produce en el horno por medio del flujo de aire, que mediante un ventilador es impulsado por un motor y conducido hacia la pila donde se encuentra el grano a secar.

Para entender este proceso la temperatura del horno tiene que estar en un promedio de 45 °F; el flujo del aire debe ser conducido por ventilador que esté girando alrededor de los 1,500 rpm.

Al entender la relación que tiene el flujo de aire y la temperatura, en el cual la temperatura viene relacionada con el gasto de energía, el ventilador es parte fundamental porque es el que provee el flujo de aire cuando a este se le aplica mayor velocidad; se podría mejorar el tiempo de secado pero también implicaría un gasto mayor de energía empleado por el motor. Esto podría modificarse por medio de la variación de las poleas, con una adecuada elección de diámetros, la cual transmite el movimiento giratorio entre los dos ejes distantes, permitiendo aumentar la velocidad del ventilador.

Otro aspecto importante que se tiene que tomar en cuenta durante el secado del cardamomo es la humedad relativa, que es la cantidad máxima de agua que se puede retener, a cierta temperatura en el cardamomo, la cual se

puede medir en porcentajes; este puede indicar lo cerca o lejos que esté el aire de llegar a una saturación o punto de rocío, que es el momento donde se llega a formar gotas de agua.

Esta humedad relativa se puede calcular a través de un instrumento llamado psicómetro que está compuesto por dos termómetros; el primero, es un termómetro seco convencional de mercurio, y un termómetro húmedo cuya principal particularidad es que su depósito está cubierto por una tela constantemente humedecida y trabaja en función de lo seco o húmedo que esté el aire.

Ese termómetro marcará valores altos y la diferencia de temperaturas entre los dos termómetros; esta permite determinar la humedad relativa del aire, de manera que si la diferencia es grande, la humedad relativa será pequeña, la cual se puede determinar por medio de tablas asociadas al psicómetro; en otros casos se puede determinar por psicómetros digitales que calculan directamente la humedad relativa.

4.2. Ciclo del secado del cardamomo

Después de saber cuál es la manera en que el horno transfiere calor a la pila y la forma de conducir el fluido de calor, sabiendo la humedad relativa que está presente durante la etapa de secado, se define el ciclo de secado.

En la primera parte del secado de cardamomo se tomó en cuenta la información de temperatura, iniciando con una temperatura baja; conforme pasaban los minutos se cambiaba la velocidad del ventilador utilizando otra polea.

El combustible que se utilizó en el quemador fue mucho más que el combustible utilizado en el motor. Una de las ventajas fue disminuir la potencia del motor; en este caso se podría considerar utilizar un motor más pequeño o utilizar una pila más grande.

Si uno desea bajar los costos de procesamiento del producto se tendría que bajar los gastos de la quemadora. Estas pruebas fueron para ver cómo ahorrar combustible.

El gasto de energía va aumentando durante la secada; cuando disminuye el porcentaje de humedad del producto, en la última mitad de la secada y cuando la velocidad del ventilador permanece constante, el gasto de energía aumenta mucho más.

El principal fin de este estudio es disminuir el gasto de energía lo más que se pueda.

Al analizar la relación que existe entre el combustible que se gastó y la velocidad del aire se analizó creando formas de no dejar escapar energía; entonces se pensó en una forma de hacer recircular el aire.

4.3. Diseño en pilas

Para estudiar la factibilidad de un sistema de recirculación, se tiene que estudiar la humedad relativa y temperatura del aire, saliendo de la pila durante la secada. Se puede dividir la secada en dos partes: la primera es cuando el cardamomo todavía contiene bastante agua y el aire saliente es más de 50 a 60 % de humedad.

En este tiempo el gasto de energía sería mucho menos y se puede usar una velocidad de aire más alta (revoluciones altas del motor) sin bajar mucho la eficiencia.

En cambio en la segunda parte, cuando la humedad es menos de 50 % (cuando el cardamomo de la superficie es seco) si se usa un flujo de aire muy alto, se gasta energía de más. En este tiempo es mejor bajar las revoluciones del ventilador o implementar el sistema de recirculación para ahorrar energía. La pérdida de energía no es tanto con el motor, sino con la quemadora. Si aumenta el flujo de aire 2 veces, se gasta dos veces energía para calentar el aire; al ver esto, no se aumenta dos veces la cantidad de agua que se evapora del producto; entonces, la eficiencia disminuye.

Al ver esta relación se analizó la factibilidad de reciclar el aire cuando la humedad relativa del aire es menor de 50 %. Como el aire todavía es caliente y seco cuando sale de la pila, se puede aprovechar a través de un sistema de recirculación. Cuando no se utilice el sistema de recirculación y la humedad relativa sea igual a 50 %, no se tiene que utilizar un sistema de recirculación. Cuando la humedad relativa es más de 50 % es mejor dejarla escapar al ambiente.

Al observar la humedad durante una secada completa se analizó que cuando la humedad del aire va saliendo de la pila y baja un 50 %; antes de este punto el agua que se evapora del cardamomo se encuentra debajo de la pila, se condensa en la parte de encima.

Es difícil predecir exactamente los ahorros de combustible con un sistema de recirculación, pero estudiando los datos de la secada, se podría considerar implementar un sistema de recirculación como se presenta en los apéndices.

Algo que debería de tomarse en cuenta es que al empezar la secada deben aumentarse las revoluciones en el ventilador, para que no se pierda mucha energía y el proceso de la secada avance más rápido.

Cuando el aire que sale de la pila va por debajo del 50 % de humedad relativa, el sistema de reciclar el aire debería de cubrir la pila sin cambiar las revoluciones del motor. Cuando no se tiene un sistema para reciclar el aire, se debe bajar las revoluciones del motor; lo ideal sería utilizar un sistema de recirculación en los equipos nuevos y adaptarlos a los equipos que están en uso para ahorrar combustible con él.

4.4. Análisis en la quemadora

Las quemadoras más usadas en la región son las de leña o gas propano. Hay ventajas y desventajas de los dos combustibles y hay una comparación de ellos en la tabla IV, una comparación de combustible y equipo.

El horno de la quemadora que se analizó se colocó directamente al flujo de aire o abajo, donde se puede regular la cantidad de aire por medio de una válvula.

Se llegó a la conclusión que se tienen que utilizar dos quemadoras, porque cuando va bajando la presión de los cilindros, una quemadora no da bastante llama para mantener la temperatura alta. Cada una de las quemadoras está conectada a tres cilindros de gas propano.

No es recomendable tener las quemadoras muy cerradas. Por eso las paredes de ladrillos están abiertas. Si estuvieran muy cerrados, succionaría demasiado aire por encima las quemadoras, no dejándolas quemar bien.

4.5. Análisis en el ventilador y embudo

Los ventiladores hechos en los talleres en Cobán son de un estilo muy sencillo y de un diseño muy viejo (ver apéndices). Siempre son ventiladores centrífugos, pero el tamaño y la forma de las aspas y el caracol varía. El estilo más sencillo tiene aspas radiales, las cuales no son eficientes para su fin. Otros tiene aspas inclinadas que funcionan mejor pero tienen demasiadas aspas y el caracol es muy pequeño por el diámetro del ventilador. Para hacer un ventilador eficiente se tiene que saber cuántas aspas va a usar, qué ángulo de inclinación, el diámetro y la forma del caracol. También uno tiene que hacer muchas pruebas para llegar a un buen diseño (ver apéndices).

Por dos razones se quiere aumentar la eficiencia del ventilador:

- Porque el motor usa menos combustible para suministrar la misma cantidad de aire.
- Porque se puede utilizar un motor más pequeño para suministrar la misma cantidad de aire.

En el caso de utilizar dos pilas, con un ventilador más eficiente se puede usar un motor de tamaño mayor por pila, para suministrar dos veces más aire para las dos pilas.

La velocidad que el motor da al ventilador que se utiliza para la secadora, se puede calcular relacionando el tamaño de la polea que se le coloca, con las revoluciones del motor.

Ejemplo: si el motor produce las 2 000 rpm, y se tiene una polea de 6 pulgadas de diámetro, el diámetro de la polea se multiplica por las revoluciones del motor; la secadora necesita para funcionar cerca de las 1,200 rpm para proporcionar el flujo de aire necesario para secar el producto. Así que el resultado del producto de este se divide dentro de las revoluciones necesarias para hacerla funcionar, que son las 1 200 rpm.

$$\text{Diámetro ideal de la polea} = \frac{2000 \text{ rpm} \times 6 \text{ pulgadas}}{1200 \text{ rpm}} = 10 \text{ pulgadas}$$

4.6. Pila y sistema de recirculación

Si la secadora está hecha para utilizar una o dos pilas con un motor y ventilador (ver apéndices), por medio de un embudo y una puerta ya instalada, se puede cambiar de una pila a otra, o fijarla en medio para las dos a la vez.

Las pilas son rectangulares y están hechas de ladrillo de tierra-concreto. Las dos pilas comparten la pared de en medio. Cada pila utiliza 4.5 hojas de lámina perforada o sea 3 m de largo y 1.5 m de ancho. Este tamaño es 50 % más grande que lo normal. El cambio más importante que se realizaría con la pila sería cubrirla con dos puertas puestas encima. Se pueden abrir las puertas de la pila para las primeras horas de la secada y cerrarlas para las últimas horas. Y así aprovechar el aire caliente.

Con las compuertas se pondría un sistema de recirculación que lleva el aire hacia el ventilador de retorno. Al usar este sistema de recirculación de aire, bajaría el gasto de combustible un 33 %; para secar unos 85 quintales de cardamomo sin usar el sistema, se gastarían unas 900 libras de gas propano. Al usar el sistema de recirculación para secar la misma cantidad de 85 quintales

de cardamomo, se gastarían unas 600 libras de gas propano. La ventaja de este sistema es que se puede adaptar a cualquier pila y horno que se tenga.

El sistema de recirculación no es un gasto fuerte y ahorraría bastante combustible. El sistema se puede adaptar a cualquier quemadora. Es recomendado implementarlo en unidades que están en uso.

Hay muchas opciones para equipos de secadoras; se tienen que estudiar las posibilidades que sean apropiadas para su respectivo fin, porque unas son apropiadas para cualquier tipo de área y otras no, por su accesibilidad a las fuentes de combustible.

4.7. Resultados de secadora estándar

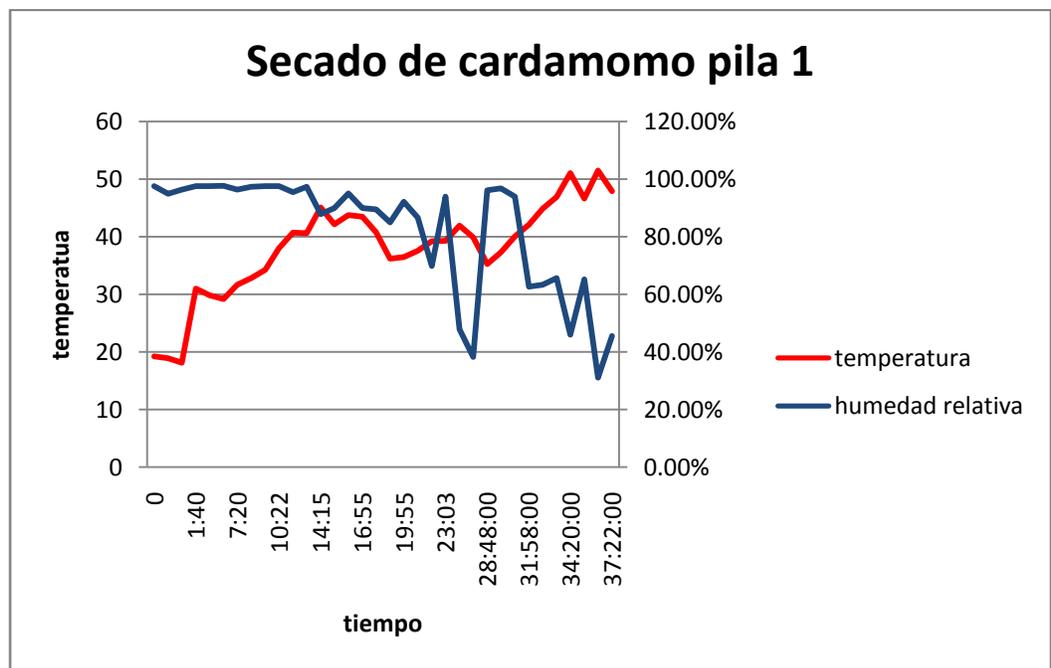
Los resultados están dados a partir de las pruebas que se realizaron con la secadora estándar. La temperatura y humedad fueron tomadas en esta prueba, pero para poder entender mejor los resultados solo se midió en dos lugares; la entrada de aire por la pila y la calidad de aire de la pila

Se ve que poco a poco la diferencia entre las dos temperaturas y humedades relativas va disminuyendo durante la secada. También se ve que el porcentaje de humedad del producto va disminuyendo. Este quiere decir que cuando el producto ya está más seco y el aire caliente no está evaporando más agua del producto, el aire que sale de la pila es más caliente también.

La velocidad del aire, se ve cuando se cambia la polea del ventilador o se aumentan las revoluciones del motor. Cuando está más alta la velocidad, el gasto de energía aumenta más. También la diferencia es mucha más cuando el producto ya está más seco.

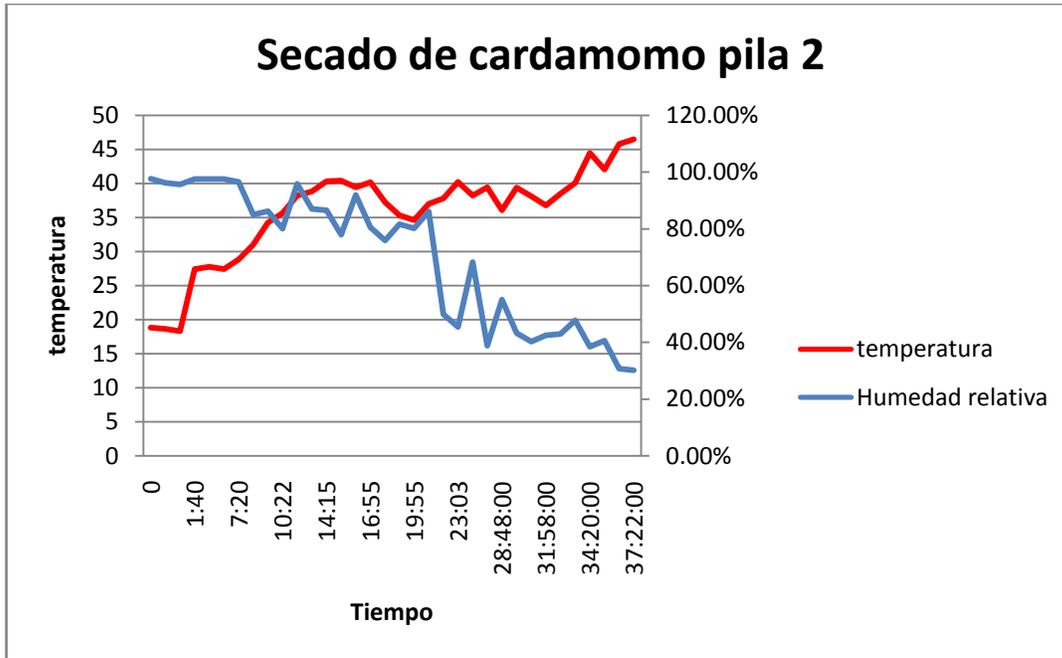
Las siguientes graficas muestran cómo se comporta la temperatura, y humedad relativa que se anoto durante una secada. Se midió la temperatura de los dos embudos, y encima las dos pilas; también se realizo un promedio de las dos. La humedad se midió del aire ambiente y encima de las dos pilas. Cada hora se anotaron los datos. Se ve con estos datos que cuando llegaba a las 20 horas bajó la humedad del aire, que sale de la pila a como 50 %. Este es el momento de poner el sistema de recirculación.

Figura 10. **Secado de cardamomo 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Secado de cardamomo 2



Fuente: elaboración propia.

5. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS SECADORAS

5.1. Definición de los diferentes planes de mantenimiento

En torno al mantenimiento se podría decir que se trata de una secuencia de pasos para poder realizar tareas en un equipo con el objetivo de repararlo, revisarlo a manera de mantenerlo funcional y con el rendimiento para el cual fue diseñado. La finalidad del mantenimiento es la capacidad con la que una máquina pueda trabajar con buena calidad, desempeño, y rentabilidad para la cual fue adquirida.

Con esta explicación podría plantearse una idea del tipo de mantenimiento que se pueda evaluar, valorar, que ocupe lo mencionado fortaleciendo la efectividad y operatividad de la secadora a través de recursos de fiabilidad y veracidad, conforme a normas para obtener un rendimiento óptimo.

Desde el punto de vista de los costos de los servicios de mantenimiento se espera que estos sean bajos y que se tenga la probabilidad menor de que falle.

5.2. Tipos de mantenimiento

Dada su especificación, los tipos de mantenimiento se pueden mencionar 5 categorías:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

- Mantenimiento proactivo
- Mantenimiento clase mundial

Cuando se habla de clases de mantenimiento, lo correcto es referirse las clases de tareas de mantenimiento, y en este contexto se refiere a la naturaleza de estas tareas.

5.2.1. Mantenimiento correctivo

La función de esta tarea de mantenimiento es restituir la operatividad de la máquina o elemento, corrigiendo así los defectos que la originaron y que se presentan en los distintos equipos en los cuales se realiza, sin tener elaborado un plan de actividades de reparación que resulta de la falla o deficiencia de la máquina; su principal beneficio es la reducción de costos de inspecciones, reparación y solo se efectúa en situaciones en los que las piezas o elementos sean de bajo costo y baja criticidad.

5.2.2. Mantenimiento preventivo

La tarea de este mantenimiento es disminuir considerablemente la probabilidad de que la máquina o elemento falle.

Esta tarea de mantenimiento está debidamente organizada para un periodo de tiempo y su principal función es que se produzcan averías, y puede planificarse en tiempos libres cuando no hay producción, con lo cual se reducen las intervenciones correctivas, cuando se realizan revisiones y se reparan los componentes desgastados.

5.2.3. Mantenimiento predictivo

Esta tarea de mantenimiento lleva a cabo una predicción del comportamiento, con base en el momento exacto en que causa una obstaculización del sistema; esta tarea de mantenimiento supone cómo una máquina o elemento debería comportarse y de antemano anticiparse a la hora que esta falle, teniendo en cuenta todo esto se puede planificar un tipo de intervención al elemento o máquina para no afectar la producción; con esto se evita mano de obra, repuestos, costos de producción y grandes averías que se puedan producir.

5.2.4. Mantenimiento proactivo

Esta tarea de mantenimiento se presenta debido al constante cambio de mantenimiento predictivo, el cual tomó a todos los tipos de mantenimiento mencionados anteriormente para un análisis de causas. El mantenimiento proactivo puede analizar las causas principales de la insistencia de las fallas, rectificando los aspectos técnicos.

Esta tarea de mantenimiento tiene como ventaja la idea de calidad total y mejora continua, para tener un resultado más participativo al unir a toda la organización de los trabajos.

5.2.5. Mantenimiento clase mundial

Esta tarea de mantenimiento se utiliza para aumentar la producción de la empresa; es un conglomerado de todas las ideas y esfuerzos dirigidos para redirigir los planes de manutención hacia un enfoque de mantenimiento proactivo, llevado a cabo a través de normas y estándares con un desempeño

de clase mundial; el cual se orienta en los perfiles de excelencia en los procesos de calidad y rentabilidad, motivación y satisfacción del cliente, confiabilidad, logro de producción requerida, seguridad personal y protección ambiental.

5.3. Lubricación

Es una actividad que se realiza dependiendo de su condición; parte de la información que proporciona el fabricante sobre el equipo, las entradas y dónde debe ser lubricado el elemento, para poder proporcionarle el servicio adecuado. Se pueden efectuar dos tipos de estudio de lubricación:

- Estudio inicial: se puede elaborar a partir de las máquinas de las cuales se tenga sospecha en los resultados de los estudios de lubricación y que hacen elección en el producto que se ha de utilizar.
- Estudio rutinario: se le efectúa a equipos críticos que son los que tienen una gran capacidad y una continuidad en la forma de las muestras, siendo estos: la constante toma de muestras de aceite y sus respectivas características.

5.4. Vibraciones

Este tipo de análisis de vibraciones se lleva a cabo por medio de mantenimiento preventivo y predictivo, al cual ayuda a la calidad del producto y a los costos.

Las vibraciones mecánicas se utilizan para medir las vibraciones que produce una máquina, como consecuencia de los desplazamientos vibratorios,

velocidad de la vibración y la aceleración de la vibración, las cuales se pueden medir a través de sensores, para darle un adecuado mantenimiento y prolongar su vida útil.

5.5. Termografía

Es un método que mide a distancia por medio de un infrarrojo que genera un termograma por medio de imágenes IR, que sirve para localizar problemas grandes, reducir costos y ampliar la vida útil; se puede utilizar para detectar problemas en sistemas eléctricos, en edificios, sistemas mecánicos y en pruebas no destructivas.

5.6. Definición de rutinas de mantenimiento preventivo

Esta se realizará por un ingeniero que esté a cargo, quien tomará la decisión de qué método conviene más utilizar, pero puede hacer un análisis en dos distintas áreas que tienen la misma importancia.

Para comenzar:

- Desconectar el embudo del conducto y cubrir la entrada con un costal para que no entre el aire húmedo.
- Abrir las puertas de la entrada de aire.
- Colocar bien la puerta del embudo para que sequen por igual las dos pilas; si se ve después que no está parejo hay que mover un poco la puerta.
- Arrancar el motor pero sin fuego por 1 a 2 horas.

Para puntear el cardamomo, revisar lo siguiente:

- Nivel de combustible del motor
- Que se encuentren suficientes suministros de combustible
- Que no se encuentren fugas de gas propano
- El nivel de aceite del motor

En cada secada y antes de secar:

- Revisar nivel de aceite
- Engrasar cojinetes de ventilador
- Revisar nivel de combustible
- Revisar que los cilindros de gas estén llenos
- Revisar el filtro de aire
- Revisar tornillos y tuercas de motor y secadora
- Revisar mangueras y abrazaderas de gas propano

A cada tres secadas:

- Cambiar aceite de motor
- Revisar mangueras y abrazaderas del motor
- Limpiar filtro de aceite
- Limpiar motor

A cada 6 secadas:

- Cambiar filtro de diésel
- Limpiar filtro de aire

5.7. Recomendaciones de mantenimiento predictivo

Como se indicó anteriormente el mantenimiento predictivo trata de anticiparse en el momento preciso en que la falla aparezca, de manera que pueda ahorrarse repuestos; así se trata de minimizar el tiempo muerto de los elementos para así optimizar el uso de la máquina al máximo, para sacarle todo su rendimiento.

Como se trata de una secadora, no son muchos los repuestos que se tienen que tener en reserva; se deben tomar en cuenta los más importantes que se utilizarán como por ejemplo:

- Motor
- Ventilador
- Tubería del horno

Lo mejor sería tener un motor y un ventilador por cada tres secadoras, debido a que estas casi no se arruinan; también tener varios tubos para que se puedan utilizar en el momento que se necesiten ser reemplazados en el horno, porque si estos se rompen, pueden causar que el humo llegue al grano y este se ahume.

Se podría realizar un análisis de vibraciones en los motores y ventiladores; este podría dar la vibración que estos producen y si se interpretan bien los resultados podría verse si el ventilador está desbalanceado o si el motor tiene cierta holgura con la cimentación o problemas en los engranajes o las fajas, estos podrían realizarse después de 1 a 2 horas sin fuego, después encender las quemadoras y subir la temperatura de 35 a 45 grados en el

medidor para analizar cómo se desempeña a esta temperatura; luego, seguir analizando con la misma temperatura después de 3 a 4 horas.

Para realizar un análisis con una tomografía, esta se utilizaría simplemente para ver el estado en que se encuentra el horno, y también se puede verificar si el ventilador suministra el suficiente aire. Después se tiene que subir la temperatura de 50 a 55 grados en el medidor, para poder medirlo cuando está operando a máxima capacidad.

Durante el proceso de secado, cuando el cardamomo se empieza a secar, se tienen que colocar las puertas encima y conectar el conducto para empezar a reciclar el aire. En este momento también hay que cerrar las puertas de entrada del aire y se realizaría un análisis con la tomografía, para ver cuánta energía es la que se hace recircular, y así ver cuál es su beneficio.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un estudio para mejorar el diseño de secadoras para cardamomo según la necesidad y dependiendo del área donde se requiera.
2. El secado de cardamomo se realizó con una quemadora de gas propano; se tomaron datos de la temperatura y la humedad relativa; se analizó que cuando baja un 50 % de humedad relativa, se puede desarrollar un sistema de recirculación para aprovechar el aire caliente.
3. Se proporciona información de los costos de equipo y el procedimiento de instalación del equipo, así como su cimentación y medidas de seguridad en el horno para prevenir accidentes.
4. Las secadoras de cardamomo son más utilizadas en Alta Verapaz, en donde la producción del cardamomo llega a ser hasta el 80 % del consumo a nivel mundial; por lo que es importante analizarla y así mejorar la productividad con un producto de mejor calidad.
5. De todas las prácticas que se mencionan en el mantenimiento preventivo, las mecánicas son las más importantes, ya que se ejecutan a cada período de tiempo de cuando se realiza el secado del fruto y son las responsables de que el equipo funcione sin desperfectos.

RECOMENDACIONES

1. Para los productores de cardamomo y especialmente a los que se encuentran en el área de Alta Verapaz, es importante contar con este equipo de secado, el cual debe adaptarse a todas las variables que se presenten, tal como el área donde se utilice para la fabricación e instalación de la misma.
2. Para adquirir el equipo o construirlo se tienen que realizar distintas consultas sobre los precios, porque estos varían dependiendo del taller donde se fabrique y de los materiales que se utilicen.
3. Es importante mantener las medidas de seguridad para el horno, porque se evitan accidentes que podrían llegar a ser fatales.
4. La disposición que se tiene para mejorar el diseño de las secadoras para cardamomo es grande, porque la mayoría de los productores utilizan leña como combustible principal; el mejoramiento del diseño ayuda a reducir el consumo y cuidar del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Cardegua*. [en línea]. <<http://www.cardegua.com/cardamomo.html>> [Consulta: 25 de junio de 2014].
2. Intecap. *Manual para secamiento de semilla y grano*. Guatemala, Intecap, 1973. 26 p.
3. *Mantenimiento mundial*. [en línea]. <<http://www.mantenimientomundial.com/>> [Consulta: 25 de junio de 2014].
4. LÜTMMANN, Neri. *El cardamomo y su cultivo*. Guatemala: Artemis y Edinter, 1986. 84 p.
5. PEÑA PÉREZ, Adolfo Fernando. *Costo de beneficiado del cardamomo según los tipos de secadoras comúnmente utilizados en el departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduacion de Ingeniero Agrónomo, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1984. 50 p.
6. PÖLL, Elfriede. *Programa de genetica y cultivo de tejidos en Cardamomo*. Guatemala: Progecar, 1990. 41 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Pruebas en secadoras

TEMPERATURA Y HUMEDAD						
Duración	PILA 1			PILA 2		
	Embudo	Aire saliendo		Embudo	Aire saliendo	
	Temperatura	temperatura	Humedad	Temperatura	Temperatura	Humedad
0	18	20.5	97.60 %	18	19.6	97.70 %
25	18	19.8	94.90 %	18	19.3	96.20 %
60	18	18.3	96.40 %	18	18.6	95.70 %
1:40	42	20	97.60 %	34	20.8	97.60 %
4:20	38	21.7	97.60 %	34	21.5	97.60 %
5:17	38	20.4	97.70 %	34	20.8	97.60 %
7:20	43	20.4	96.40 %	36	21.6	96.60 %
8:36	46	19.7	97.40 %	40	22	85.00 %
9:16	46	22.6	97.60 %	41	27.5	86.30 %
10:22	50	26	97.60 %	44	27.3	80.10 %
11:47	53	28.5	95.50 %	47	29.4	95.90 %
12:52	53	28.2	97.40 %	48	29.7	87.10 %
14:15	56	34.2	87.90 %	49	31.7	86.60 %
15:00	54	30.3	90.00 %	49	31.8	78.00 %
15:50	57	30.5	95.00 %	47	31.9	92.00 %
16:55	55	32	90.00 %	47	33.4	80.50 %
17:50	52	29.6	89.50 %	44	30.5	76.00 %
18:51	46	26.4	85.00 %	44	26.6	81.70 %
19:55	46	27	92.20 %	42	27.2	80.20 %
20:52	47	28.2	86.70 %	42	32	86.20 %
21:50	48	30.5	69.90 %	42	33.6	49.90 %
23:03	52	26.6	93.90 %	48	32.5	45.50 %
24:47:00	50	33.9	47.90 %	46	30.4	68.30 %
26:02:00	46	33.8	38.30 %	42	36.9	38.80 %
28:48:00	48	22.5	96.10 %	40	32.1	55.10 %

Continuación del apéndice 1.

29:53:00	52	22.6	96.80 %	44	34.8	43.30 %
30:55:00	53	27.1	94.00 %	44	32.3	40.30 %
31:58:00	52	32.2	62.70 %	41	32.5	42.50 %
33:08:00	56	33.7	63.40 %	44	33	43.00 %
33:55:00	60	33.8	65.70 %	46	34.2	47.80 %
34:20:00	60	42.1	46.00 %	48	41	38.50 %
35:05:00	60	33.3	65.20 %	48	36.1	40.60 %
35:58:00	60	43	31.10 %	50	41.6	30.80 %
37:22:00	58	37.8	45.60 %	51	42	30.20 %

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Materiales y equipo

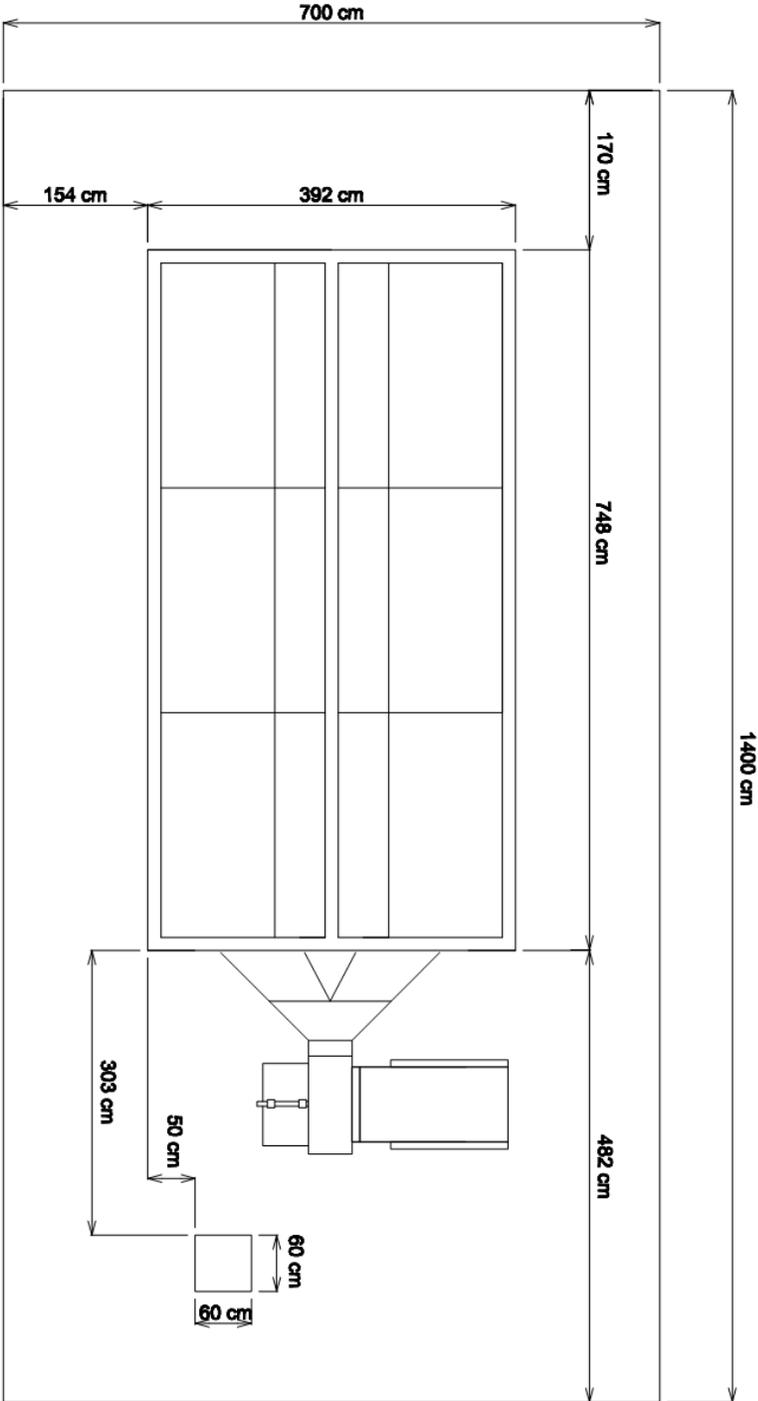
MATERIALES Y EQUIPOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO Q	TOTAL Q
Pila rectangular de tierra-concreto	1	8 000,00	8 000,00
Lamina perforada, tubos , compuertas		2 800,00	2 800,00
Total			10 800,00
ACCESORIOS HORNO DE QUEROSENO			
Serpentín	1	300,00	300,00
Quemadoras Q-A15 industrial	2	650,00	1 300,00
Llaves de paso de alta presión	2	35,00	70,00
Niples galvanizadas de ¼	2	5,00	10,00
Reguladores de alta presión	2	340,00	680,00
Niples hex ¼	4	5,00	20,00
Válvulas bola ¼	2	20,00	40,00
Punto manguera	6	20,00	120,00
Cruces de ¼	2	25,00	50,00
Manguera reforzada 3/8	15	10,00	150,00
Abrazaderas	30	3,00	90,00
Rollos de teflón	6	3,00	18,00
Tubo Permatex	1	20,00	20,00
Total			2 868,00
EQUIPO Y COMPLEMENTOS			
Motor Agrale M93	1	15000,00	15 000,00

Continuación del apéndice 2.

Faja Superbelt B-100	2	54,00	108,00
Termómetro	1	315,59	315,59
Polea de 10 pulgadas	2	22,25	44,5
Filtro diésel (motor Agrale)	2	120	240
Aceite SAE 40 (galón)	3	45	135
Total			15 843,09
Suma Total			29 511,09

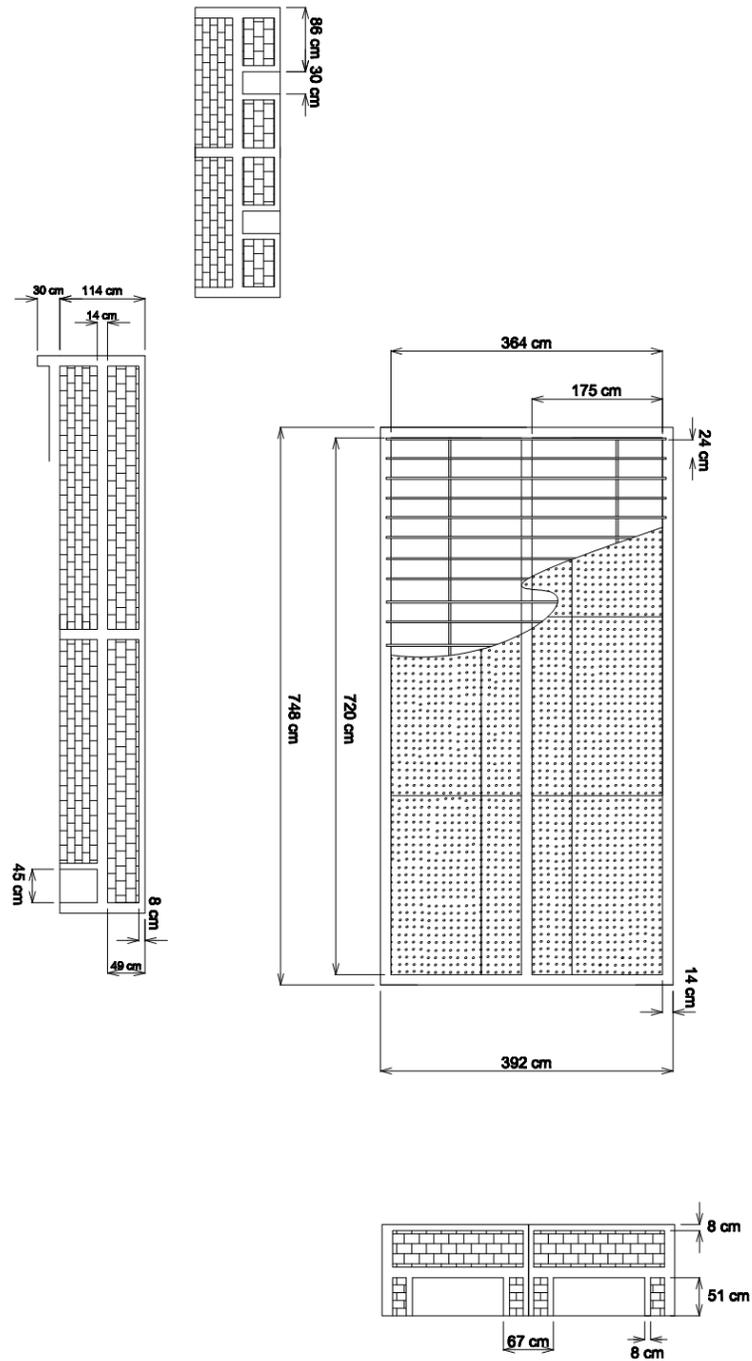
Fuente: elaboración propia

Apéndice 3. Pila doble



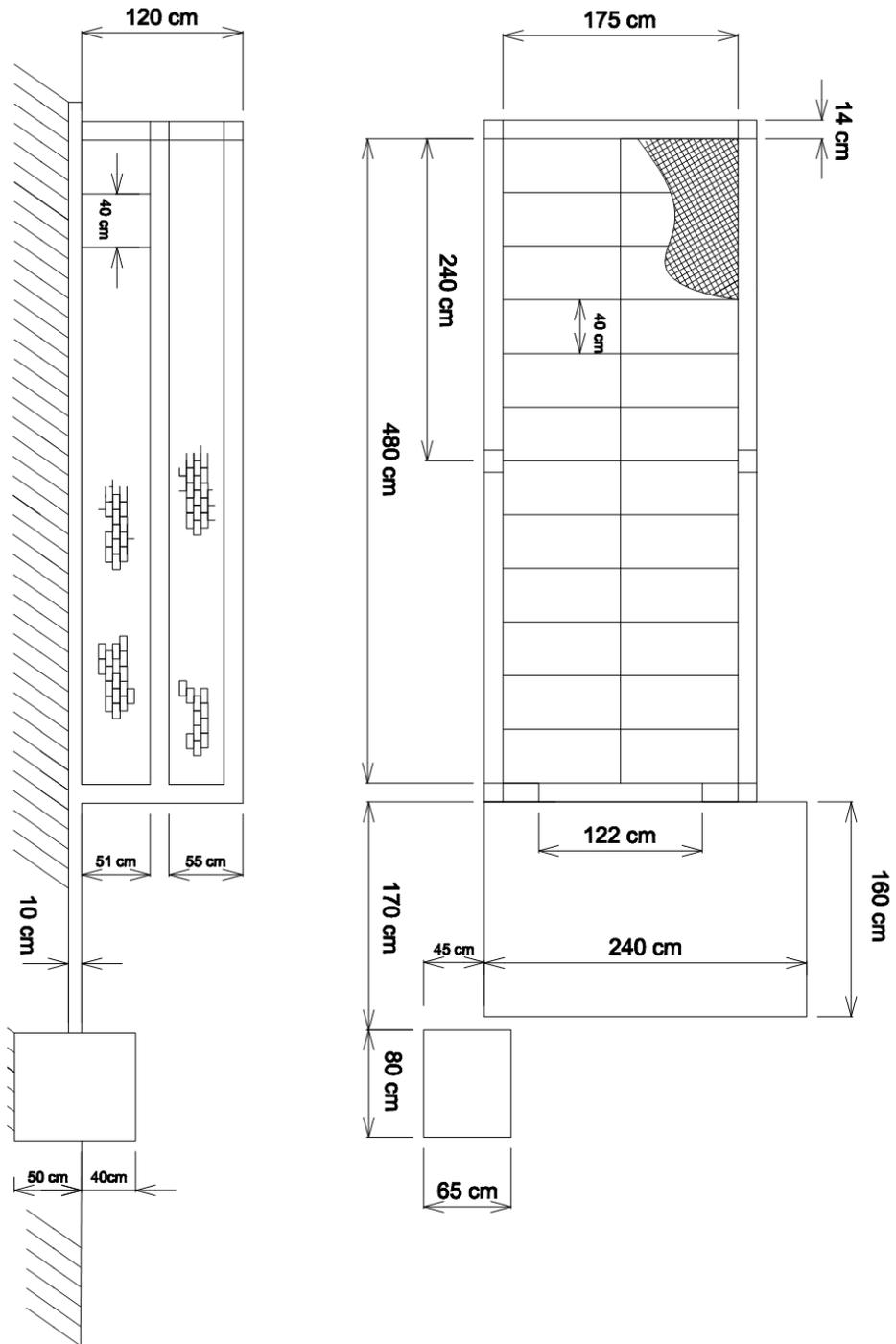
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Pila de concreto



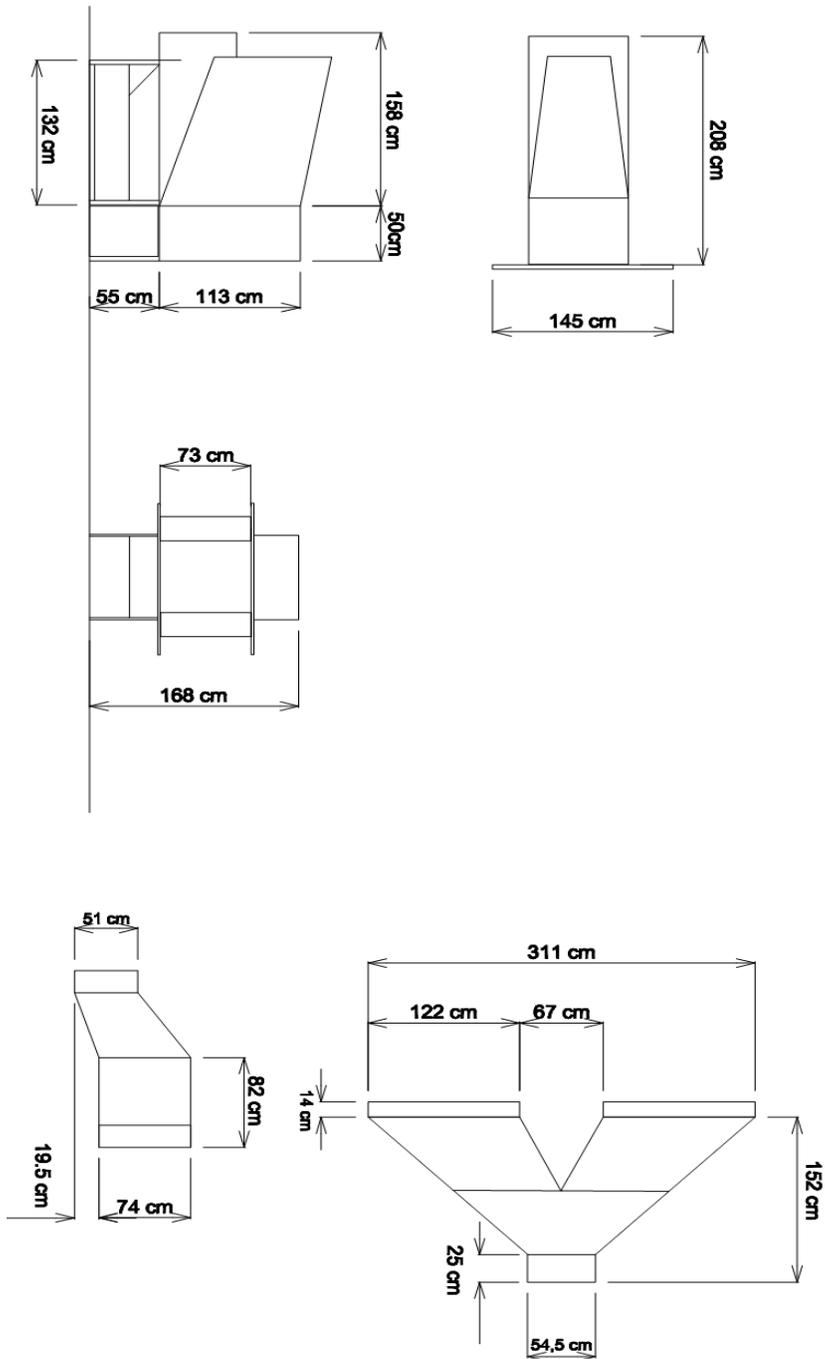
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Estructura de una pila



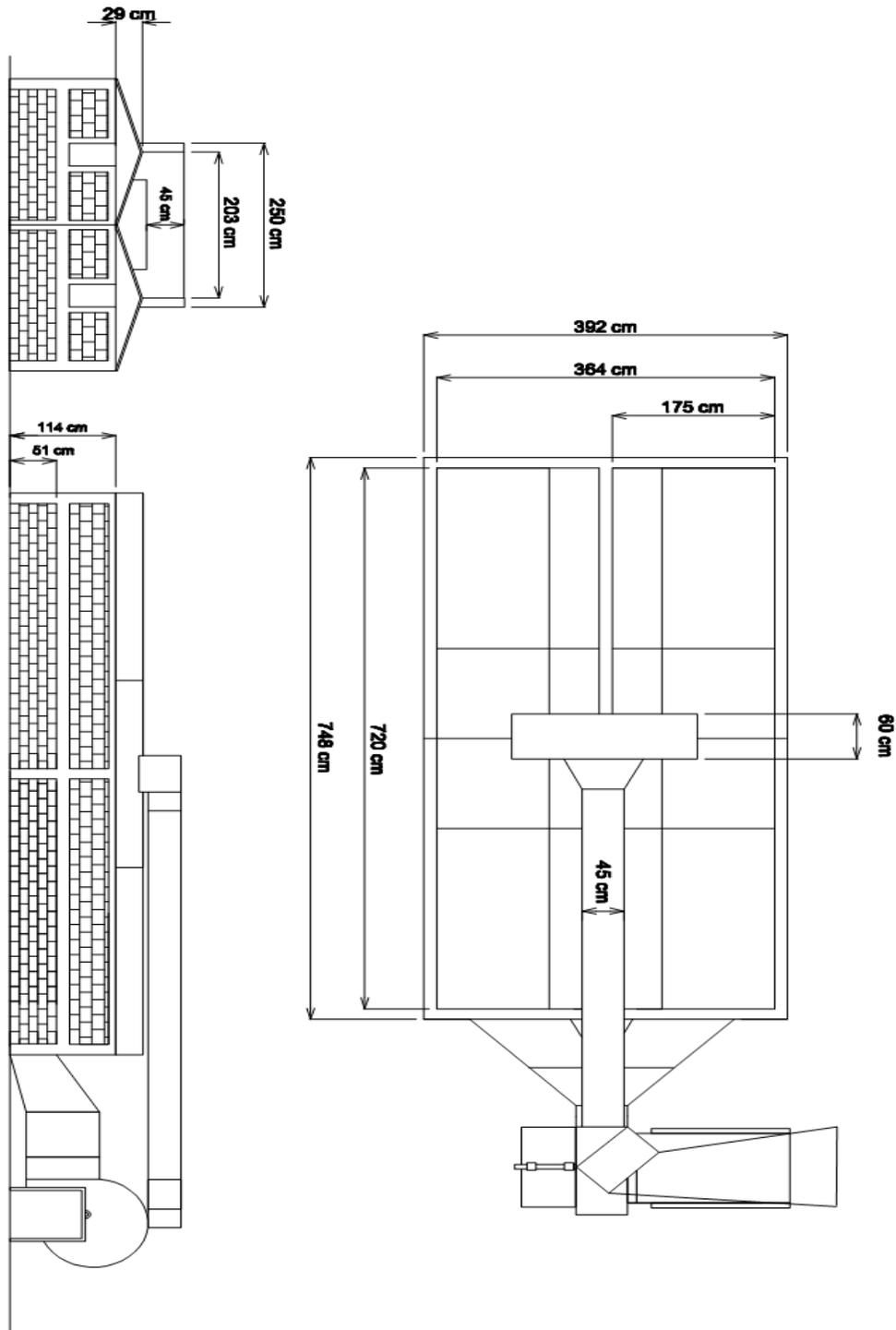
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Estructura de túnel y quemadora



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Pila con sistema de recirculación



Fuente: elaboración propia.