



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“Equivocarse es la norma de hoy. Si las cosas no están fallando, no estás innovando lo suficiente”

Elon Musk





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA SECADORA DE CACAO, PROPIEDAD DE LA EMPRESA CACAO 3H UBICADA EN EL CANTÓN CUMANDÁ, PARA OBTENER LA MEJOR CALIDAD DE GRANO SECO EN FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN, MEDIANTE EL REDISEÑO DE SUS SUBSISTEMAS MECÁNICO Y ELÉCTRICO Y LA ADICIÓN DE UN SUBSISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL

AUTOR: LUIS CLINTON SEMANATE ESQUIVEL
DIRECTOR: ING. SYLVIA NATHALY REA MINANGO

2018



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa Cacao 3H se desarrolló la tesis "Diseño y construcción de un prototipo de máquina secadora de cacao para la empresa Cacao 3H ubicada en el cantón Cumandá" elaborada por Felipe Flores y Andrés Castrillón en el año 2016, destinada a la optimización en los tiempos de secado del grano y a la reducción de mano de obra. Este prototipo funciona a base de resistencias eléctricas, las cuales provocan un alto consumo energético; cuenta con un removedor de paletas en la cámara de secado del grano, el cual es impulsado por un moto-reductor eléctrico controlado por un variador con control escalar, mismo que no provee el torque necesario para revolver los granos, dando como resultado un secado de baja calidad.



JUSTIFICACIÓN

En la empresa Cacao 3H existe una de estas máquinas diseñada para mejorar el proceso de secado del cacao, sin embargo no cumplía de forma eficiente con los requerimientos de la empresa, generando pérdidas en tiempo, calidad del grano y recursos económicos derivados del consumo excesivo de energía, lo cual no permitió establecer un precio competitivo con relación a las demás empresas del ramo.



OBJETIVO GENERAL

Rediseñar y automatizar el prototipo de máquina secadora de cacao, propiedad de la empresa Cacao 3H ubicada en el cantón Cumandá, para obtener la mejor calidad de grano seco en función de la producción, mediante el rediseño de sus subsistemas mecánico y eléctrico y la adición de un subsistema electrónico de control



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y recolectar información acerca del procesamiento del cacao, las variables a controlar, los métodos de secado del mismo y fuentes de energía usadas en estos sistemas.
- Investigar sobre sistemas de recirculación de aire y remoción del grano de cacao, así como alternativas de materiales aplicables como aislamiento térmico.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Redimensionar y sustituir los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y del sistema de control para la optimización y automatización del prototipo.
- Diseñar el circuito electrónico de potencia para el control de velocidad del motorreductor procurando el torque suficiente, mediante la utilización de un variador de velocidad vectorial.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar el sistema de secado con una nueva fuente energética en el prototipo, el cual reemplazará al sistema de secado a base de niquelinas.
- Diseñar e implementar un sistema de recirculación del aire caliente y el recubrimiento de la cámara de secado para mejorar la eficiencia energética del sistema.
- Validar el rediseño y automatización mediante pruebas de funcionamiento de acuerdo a los requerimientos de la empresa Cacao 3H.



HIPÓTESIS

¿El rediseño y automatización del prototipo de secador de cacao permitirá mejorar la calidad del grano después del secado y aportará a la reducción del uso de recursos energéticos y económicos para la empresa Cacao 3H ubicada en el cantón Cumandá?



El cacao en Ecuador

En el Ecuador actual se cultivan algunos tipos de cacao, pero la variedad conocida como Nacional es la más buscada entre los fabricantes de chocolate, por la calidad de sus granos y la finura de su aroma. Otro dato muy importante es que en el 2011, Ecuador recibió el premio como "mejor cacao por su calidad oral" y "mejor grano de cacao por región geográfica" en el Salón du Chocolate en París, Francia. (ANECACAO, 2015)



Características

El cacao es una fruta tropical, sus cultivos se encuentran mayormente en el Litoral y en la Amazonía. Es un árbol con flores pequeñas que se observan en las ramas y producen una mazorca que contiene granos cubiertos de una pulpa rica en azúcar. La producción de cacao se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. (Guerrero, 2015)

En el país se producen dos tipos de cacao: el Cacao CCN-51, conocido como Colección Castro Naranjal y el Cacao fino de aroma también denominado Cacao Nacional o Criollo. Es un Cacao Fino de Aroma conocido como 'Arriba', desde la época colonial. Ecuador es el país con la mayor participación en este segmento del mercado mundial (un 63% de acuerdo con las estadísticas de ProEcuador). (ProEcuador, Ministerio de Comercio Exterior, 2015)



Secado

Terminado el proceso de fermentación del grano de cacao, es necesario someterlo al proceso de secado, el cual consiste en reducir la humedad con que sale el grano de cacao una vez finalizada la etapa de fermentación (55% aproximadamente) hasta un contenido de humedad final máxima del 7%, que es la aceptada durante la fase de comercialización del grano de cacao seco, la cual permite conservar la calidad del grano durante el almacenamiento y sin riesgo de deterioro por aparición de hongos. (COPROAGRO, 2015)

El porcentaje máximo de humedad del cacao beneficiado será de 7,0% (cero relativo), el que será determinado o ensayado de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 173. (NTE INEN 176:2006, 2006)



Tipos de secado



Figura 1 Secado natural de cacao
Fuente: CACAOFCAUG, (2014)



Figura 2 Secadora de cacao industrial
Fuente: SIRCA, (2017)

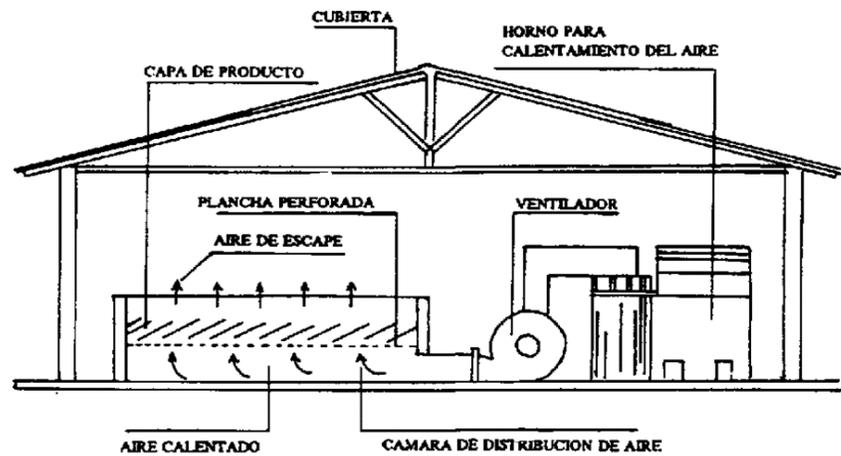


Figura 5 Esquema de una secadora de cacao artificial

Fuente: Food and agriculture Organization of the United Nations, (2000)



Quemadores

Los quemadores de gas son aparatos diseñados para realizar la mezcla del combustible con el comburente y permitir la combustión controlada del gas. Los quemadores son equipos donde se realiza la combustión, por tanto deben contener los tres vértices del triángulo de combustión, es decir que deben lograr la mezcla íntima del combustible con el aire y además proporcionar la energía de activación. (García San José, 2001)



Características de los quemadores

Los quemadores están diseñados para cumplir con los siguientes requisitos, con la finalidad de trabajar en todo rango de potencias utilizadas:

- Llama estable.
- Mezcla gas -aire homogéneo.
- Cantidad de gas quemado adecuado a la potencia que se desea alcanzar.
- Combustión de gas completa.



Gas licuado de petróleo (GLP)

Durante el año 2016 el volumen de crudo procesado en las plantas de destilación de derivados del país alcanzó un volumen de 54.9 millones de barriles, con una variación positiva del 25% con respecto a lo producido al año 2015, lo cual obedece básicamente a un incremento en los niveles de producción de la refinería Esmeraldas. (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2016)



Variadores de velocidad

Un variador de corriente alterna C.A. es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de C.A. o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o en jaula de ardilla. El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (50Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable. La velocidad de un motor es proporcional a la frecuencia. Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento. (García, 2009)



Selección del Variador de Frecuencia

Para seleccionar el variador de frecuencia primeramente se realizaron los cálculos respectivos para la selección del motor, siendo el motor de 1HP de potencia el seleccionado debido a que con esta potencia se puede incrementar la capacidad para remover más granos y disminuir la velocidad de remoción. Con el variador de frecuencia con control vectorial seleccionado se obtiene el torque adecuado para la remoción de grano, de esta manera se logra remover hasta 300lb de cacao húmedo con una velocidad de 7 r.p.m. sin tener inconvenientes de ningún tipo.



Selección de la electroválvula

Se seleccionó la electroválvula para realizar el cierre del paso de gas automáticamente mediante un temporizador, con un voltaje de 24V DC debido a la existencia en el tablero de control de una fuente que genera el mismo voltaje. La medida de la entrada de la electroválvula se eligió de ¼” con entrada ntp por la manguera de salida de la válvula del tanque de gas.

Las características de la electroválvula a 24V DC seleccionada para la implementación en la máquina secadora de cacao son las siguientes:

- Presión máxima de trabajo: 235 psi hasta ¼” – 150 psi hasta 1-1/2”.
- Presión mínima de trabajo: 0 psi-puede trabajar en vacío.
- Temperatura máxima: 120 °C.
- Material del cuerpo: acero inoxidable 304SS.
- Sellos: Viton.
- Grado de protección: IP65.



Selección del temporizador

Se seleccionaron los temporizadores para automatizar mediante tiempos todo el proceso de secado del grano de cacao, las características principales por las cuales fueron elegidos son: tienen la posibilidad de entrada de voltaje de 24V DC y 220V AC, la primera es para controlar la electroválvula, y la segunda para controlar todo el sistema.



Selección del motor

Alimentación del motor

Las principales características que identifican una red eléctrica son la tensión y la frecuencia. Para la aplicación del removedor y secador de cacao se dispone a usar una red bifásica de 220VAC y una frecuencia normalizada de 60Hz.

Potencia del motor

La potencia calculada del motor fue de $P=0.966$ HP. Por lo tanto, se seleccionó un motor reductor trifásico de 1 HP a 21 r.p.m. y un factor de servicio de 1,2.



Estructura mecánica

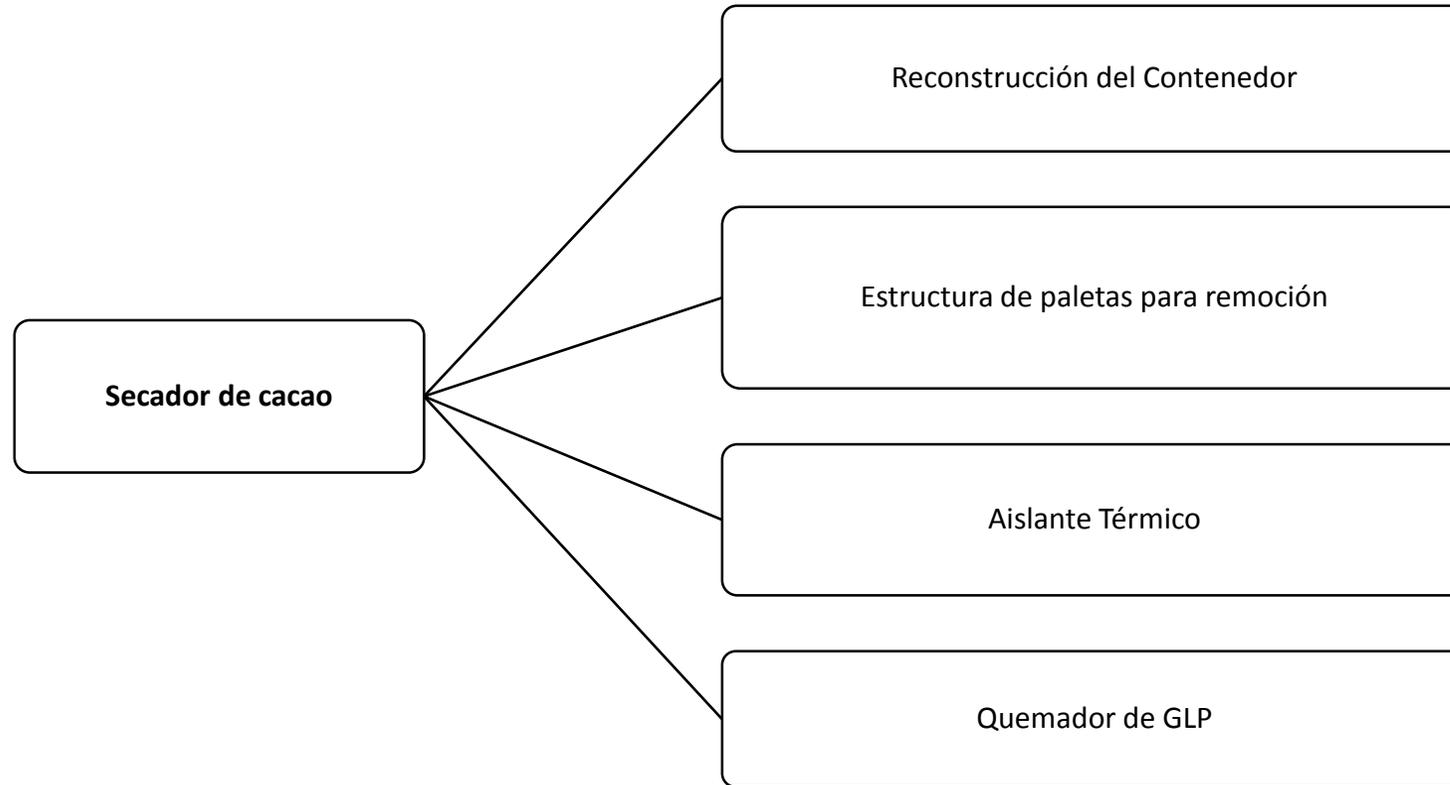


Figura 6 Componentes de la estructura mecánica del secador

Estructura del quemador



Figura 7 Construcción del quemador



Figura 8 Adaptación del quemador

Estructura del contenedor



Figura 29 Contenedor reconstruido



Estructura del contenedor

Una vez reconstruido el contenedor se realizó el recubrimiento del mismo con lana de vidrio, la finalidad de esto es reducir las pérdidas del calor producidas por el sistema durante el proceso de secado; además se adicionó una cubierta de malla para evitar que la lana se desprenda, esto se puede observar en la Figura 32.



Figura 32 Recubrimiento del contenedor

Estructura de paletas para remoción



a)

b)

Figura 36 Ubicación del sistema de paletas en el contenedor a) antes, b) después



Prototipo Finalizado

Finalmente se realiza la colocación de canaletas para la instalación eléctrica. En la Figura 37 se muestra la máquina secadora de cacao culminada, lista para realizar las respectivas pruebas de funcionamiento



Figura 37 Colocación de canaletas para instalación eléctrica





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS



ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proceso de pruebas de calidad se basa en 5 ensayos con muestras de cacao en baba. Todas estas pruebas realizadas con el procedimiento que se describe a continuación:

Se coloca el cacao en lonas para escurrir la baba y se lo fermenta por 4 días, luego de esto el grano se traslada hacia la secadora para comenzar el proceso.

La remoción se realizó con éxito al igual que el secado obteniendo como resultado el cacao seco en 6 horas y con aproximadamente 10 Kg de un tanque de gas industrial para una muestra de 300lb



Tabla de resultados

Cacao CCN51	Libras	Fermentación	Ph Inicial	Humedad Inicial	Tiempo de secado aire caliente	Tiempo de secado solo aire	Consumo de GLP (Kg)	Ph Final	Humedad Final
Prueba 1	50 lb	4 días	4	50%	2 horas	0.5 h	3	5	7,5%
Prueba 2	100 lb	4 días	4	50%	3 horas	1 h	6	5	7,5%
Prueba 3	100 lb	4 días	4	50%	3 horas	1 h	6	5	7,5%
Prueba 4	100 lb	4 días	4	50%	3 horas	1 h	6	5	7,5%
Prueba 5	300 lb	4 días	4	50%	4 horas	2 h	10	5	7,5%



CONCLUSIONES

- Es posible obtener la misma calidad en los granos de cacao mediante secado natural (Sol) que al usar el método artificial con la máquina presentada en este trabajo, asegurando que este último método es factible de ser aplicado en este tipo de procesos.
- Al usar la máquina se logró reducir el tiempo de secado a 6h (300lb de cacao), conservando la calidad para la elaboración de chocolate; además de tener la ventaja de no tener que depender del clima, ya que se necesitan al menos 4 días de Sol para un secado natural



CONCLUSIONES

- Mediante el sistema de remoción (paletas) rediseñado se logró incrementar la eficiencia al remover el grano con mayor facilidad, colocando las paletas en ángulos adecuados de acuerdo a la conveniencia del proceso, ya sea para remover o para evacuar el grano.
- Mediante cálculos se evidenció la necesidad de cambiar de componente eléctrico como es el motor, ya que el anterior de 0.5HP no lograba satisfacer las necesidades del proceso de remoción. Al cambiar el motor por uno de 1HP se logró incrementar la capacidad de la máquina para impulsar hasta 300lb de granos de cacao y disminuir la velocidad en el proceso de remoción.



CONCLUSIONES

- Mediante el diseño del circuito electrónico se logró el torque adecuado para la remoción de los granos de cacao se seleccionó un variador de frecuencia con control vectorial, el cual permite incrementar el torque al momento de disminuir la velocidad, de esta manera se logró remover sin problemas 300lb de cacao húmedo con una velocidad mínima de 7 r.p.m.
- En la automatización de la máquina de secado fueron incluidos elementos como temporizadores, una electroválvula y otros elementos electrónicos, los cuales aportaron autonomía al proceso, además de ser elementos de bajo costo y alta disponibilidad en el mercado.



CONCLUSIONES

- Para el sistema de secado con una nueva fuente energética, se construyó un quemador tipo mechero a base de GLP adaptado entre la cámara de secado y el ventilador, ubicado estratégicamente para aprovechar al 100% la llama generada por el mismo, logrando una temperatura de secado en un rango de 50 y 60°C.
- Después de realizar las pruebas de funcionamiento del sistema y a su vez los cálculos relativos al consumo de recursos energéticos, se obtuvo una reducción del 52.9%, utilizando el valor referencial del tanque de GLP industrial, el cual no posee subsidio. La reducción en términos económicos sería aún mayor en el caso de utilizar tanques de GLP doméstico, los cuales tienen un valor referencial de USD 1.60, llegando a un ahorro mayor al 80% del costo de producción actual.



CONCLUSIONES

- El sistema de recirculación de aire en el prototipo no se realizó la implementación por el motivo de que se requiere comprar un sistema de filtros y conductos de aire, debido a la humedad y alta temperatura que emana el proceso; además se necesita de una inversión de recursos considerable para la empresa, la cual no cuenta con el presupuesto de momento.



RECOMENDACIONES

- Se sugiere al operario tener un equipo de seguridad que conste de gafas, guantes, mandil y zapatos punta de acero, de esta manera evitar algún accidente futuro.
- El operario debe tener en cuenta el posicionamiento de las paletas al inicio y al final del proceso, para un secado uniforme y la evacuación del grano de cacao respectivamente.



RECOMENDACIONES

- Revisar periódicamente si existen fugas de gas, el estado de la manguera, asegurando la integridad del operario y de las personas cercanas a la máquina.
- Implementar el sistema de recirculación de aire, para reutilizar el aire húmedo caliente generado durante el proceso de secado, con el objetivo de optimizar recursos. Se debería analizar un sistema de filtros como método de eliminación de la humedad del aire para que éste pueda ser realimentado directamente al proceso.



RECOMENDACIONES

- Se sugiere automatizar la rotación individual de las paletas por medio de servomotores para cambiar el modo de operación automáticamente al final de cada etapa del proceso de secado y remoción.
- Se recomienda como futura investigación complementar el sistema con una segunda función de tostadora de granos, analizando la adición de un sistema adecuado que permita alcanzar la temperatura necesaria para este efecto.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS

