

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller: Jiménez C., Vidal C.
Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Fausto Carpentiero.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller: Jiménez C., Vidal C.
Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009



Caracas, 05 de noviembre de 2009

ACTA


Los abajo firmantes, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

VIDAL CARMELO JIMÉNEZ

Titulado:

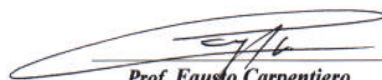
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Antonio Barragán
Jurado




Prof. Julio Segura
Jurado


Prof. Fausto Carpentiero
Tutor

DEDICATORIA

**A mis padres, hermanos,
familiares, amigos y profesores.
A los que creyeron y a los que no
también.**

AGRADECIMIENTOS

Con gusto aprovechamos la oportunidad de agradecer de forma muy especial a Rubén y Reinaldo, buenos amigos que me ayudaron mucho en la formalización y desarrollo de este trabajo especial de grado. A mi amigo Zavalita, por siempre escucharme. A mis compañeros de trabajo y amigos, David, Juan y Howard. A Fernando Capace, por su colaboración en los últimos detalles de este trabajo. A todos los buenos profesores que tuve en mis años de formación académica. A Janiel Rivero por su colaboración en el área de dibujo. Al profesor Fausto Carpentiero por su disposición incondicional al desarrollo de este trabajo.

Jiménez, C. Vidal C.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ.

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero. Trabajo Especial de Grado. Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 94 págs.

Palabras Claves: Café, diseño de maquinas, secadora, quemador, reductor.

En este trabajo se realizó el diseño de un sistema de secado de café partiendo de la necesidad de secado del grano durante las épocas de lluvia. Se realizó una tormenta de ideas con el fin de generar soluciones, en esta etapa se consiguieron 11 propuestas de diseño, seguidamente se establecieron los parámetros y características para evaluar las potencialidades de cada diseño y con la ayuda de una matriz de decisión se determinó que el diseño con mayores ventajas. El resultado de la matriz fue un secador mecánico rotativo a gas. El secador diseñado consta de 5 partes principales: cilindro rotatorio, motor eléctrico, caja reductora, estructura de soporte y quemador a gas. El cilindro esta hecho de láminas de acero inoxidable 304 con buena resistencia a la corrosión. El motor eléctrico y la caja reductora se integran en un solo equipo que genera el movimiento del cilindro. La estructura está conformada por perfiles UPN de acero estructural. El quemador quema gas combustible y lo mezcla con aire para impulsarlo luego al interior del cilindro. Finalmente se obtiene los planos de detalles y un manual de mantenimiento y operación. Se recomienda la fabricación del equipo y la realización de ensayos que permitan obtener las curvas de secado del café.

Jiménez, C. Vidal C.

DRYER COFFE SISTEM DESIGN

Tutor Académico: Prof. Fausto Carpentiero. Trabajo Especial de Grado.
Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.
2009. 94 págs.

Key words: Coffee, Machine's design, dryer, burner, gearbox.

This work was carried out to design a coffee drying system based on the need for drying of grain during the rainy season. We conducted a brainstorming in order to generate solutions at this stage were obtained 11 proposed design, then established the parameters and characteristics to assess the potential of each design and with the help of a decision matrix was determined that the design with more advantages. The result of the matrix was a mechanical rotary gas dryer. The dryer designed consists of 5 main parts: rotating cylinder, electric motor, reduction gear, support structure and a gas burner. The cylinder is made of 304 stainless steel sheets with good resistance to corrosion. The electric motor and gearbox are integrated into a single computer that generates the movement of the cylinder. The structure consists of structural steel profiles UPN. The gas burner burns fuel and air mixture to push then into the cylinder. Finally you get the detail drawings and operation and maintenance manual. It concludes by recommending the equipment manufacture and testing would allow for the drying curves of coffee.

NOMENCLATURA Y SÍMBOLOS

A:	Área
Atapa:	Área de las tapas del cilindro
C:	Capacidad de carga dinámica
c:	Distancia desde el centroide
cm	Centímetros
Cp:	Calor específico a presión constante
D:	Diámetro.
dp:	Diámetro del perno
FI:	Factor de Inercia
I:	Inercia
Iu:	Segundo momento de área unitario
J:	Momento polar de inercia
k:	Factor geométrico del rodamiento
Kt:	Concentración de esfuerzo a la flexión
L:	Longitud
Ld:	Vida deseada
m	Metros
\dot{m} :	Rata de flujo másico
N:	Newton
N:	Factor de seguridad
P:	Potencia
p:	Carga dinámica
\dot{Q} :	Rata de flujo de calor
Sn:	Resistencia a la fatiga
Sy:	Esfuerzo de fluencia

ΔT :	Diferencia de temperatura
V:	Fuerza de corte
V _{caf} :	Volumen de café
V _s :	Volumen superficial
y:	Deflexión
v:	Volumen específico
ρ :	Densidad
τ :	Esfuerzo cortante

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	3
1.3 Justificación del problema.....	4
1.4 Antecedentes	6
CAPITULO II	8
2.1 El grano de café y su estructura.....	8
2.2 Beneficio del café.....	9
2.3 Técnicas de secado	10
2.4 Conceptos básicos	13
2.5 Enconstramiento y empardeamiento.....	16
2.6 Circulación del aire	18
2.7 Velocidad de secado.....	18
2.8 Medición de humedad en el grano	19
2.9 Determinación de la humedad en el grano	20
2.10 Producción Nacional de café.....	20
2.13 Técnicas de diseño	23
CAPITULO III.....	25
3.1 Recolección de información bibliográfica.....	25
3.2 Desarrollo conceptual de la secadora.....	26
3.3 Matriz de selección.....	31
3.4 Descripción del modelo de diseño.....	32

3.5	Dimensionamientos del cilindro.....	33
3.6	Cálculo de la estructura	36
3.7	Cálculo de la soldadura	41
3.10	Diseño del eje de conexión entre el motor reductor y el cilindro	48
3.11	Cálculo de los rodamientos	51
3.12	Diseño de los pernos	51
3.13	Cálculo de la rata de flujo de calor.....	53
CAPITULO IV.....		54
4.1	El cilindro rotatorio.....	54
4.2	Estructura	55
4.3	Dinámica de la máquina.....	56
4.4	El quemador	60
4.5	Manual de operación y mantenimiento	62
CAPITULO V		65
CONCLUSIONES		65
CAPITULO VI.....		67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		68
ANEXOS I		71
APÉNDICES Y TABLAS		71
ANEXOS II.....		80
PLANOS		80

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Ponderación porcentual de las características.....	31
Tabla 3.2: Evaluación de las propuestas.	31
Tabla 3.3: Matriz de selección.	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Estructura del grano de café.	8
Figura 2.2: Secador de gavetas con techo rodante	11
Figura 2.3: Patios con techo de vidrio.....	12
Figura 2.4: Secador rotativo.....	12
Figura 2.5: Secador horizontal de lecho estático	13
Figura 2.6: Curva típica de secado	16
Figura 2.7: Producción de café por Estado.	21
Figura 2.8: Mapa físico, relieve e hidrografía de Venezuela.	23
Figura 3.1: Secador cilíndrico vertical.....	29
Figura 3.2: Secador cilíndrico horizontal.....	33
Figura 3.3: Fuerza distribuida sobre el cilindro.	35
Figura 3.4: Diagrama de cuerpo libre para el cilindro	35
Figura 3.5: Diagrama de fuerza cortante para el cilindro.....	35
Figura 3.6: Diagrama de momento flector para el cilindro.....	36
Figura 3.7: Vista lateral de la estructura de soporte.....	37
Figura 3.8: Carga concentrada sobre la viga.....	38
Figura 3.9: Diagrama de cuerpo libre de la viga.....	38
Figura 3.10: Diagrama de fuerza cortante sobre la viga	38
Figura 3.11: Diagrama de momento flector sobre la viga.....	39
Figura 3.12: Columna libre empotrada	41
Figura 3.13: Detalle de soldadura para perfil UPN80.....	43
Figura 3.14: Detalle de soldadura para tapas del cilindro.....	46
Figura 3.15: Detalle 2 de soldadura para tapas del cilindro.....	47
Figura 3.17: Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro.....	49

Figura 3.18: Diagrama de fuerza cortante en el eje del cilindro.	49
Figura 3.19: Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro.....	50
Figura 4.1: Detalle de soldadura.	55
Figura 4.2: Acople flexible.	57
Figura 4.3 a: Rodamiento N° 61807.	59
Figura 4.3 b: Rodamiento N° 61824.	59
Figura 4.2: Carta psicométrica.	61
Figura 4.3: Aceites recomendados para reductor de velocidad.....	63
Figura 4.4: Aceites recomendados para motor eléctrico.....	64
Figura 4.5: Pulsador.	64

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

INTRODUCCIÓN

Los procesos de producción de alimentos exigen cada vez el uso de tecnologías que permitan obtener productos de excelente calidad y con costos relativamente bajos. Estos procesos requieren el uso de maquinaria especializada que no siempre está al alcance de los pequeños productores.

La situación de nuestro país en el área agrícola no escapa de esta realidad. Las técnicas, máquinas y herramientas usadas por los pequeños y medianos productores nacionales son muchas veces rudimentarias lo que se traduce en una baja producción con costos relativamente altos que obliga en algunas oportunidades a importar rubros.

La producción de café en Venezuela, es un ejemplo claro de la situación antes planteada. Las rudimentarias técnicas usadas en la producción de café sumado a un incremento del consumo han obligado al estado venezolano a aumentar las inversiones en este sector. Dichas inversiones han sido destinadas a los pequeños y medianos productores que representa más del 60% de la producción nacional del grano y que por mucho tiempo han sido los menos asistidos.

Este Trabajo Especial de Grado consta de cinco capítulos. El primero de ellos, titulado “El Problema”, se define el tema de la investigación con una breve descripción de los antecedentes.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

El segundo capítulo denominado “Marco Teórico”, expone varios aspectos claves de este proyecto: las técnicas de secado, los estados productores de café y las variables más importantes del proceso de secado.

El tercer capítulo, el marco metodológico y cálculo, describe las técnicas de generación de ideas usadas en el diseño de la secadora. Además se muestra con detalle los cálculos realizados para cada uno de los elementos que conforman la secadora.

En los capítulos cuatro y cinco se desarrolla el análisis de resultados y las conclusiones. Los resultados obtenidos, el análisis de éstos y sus conclusiones conllevan a la elaboración de un sexto y último capítulo, denominado “Recomendaciones”.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Para que los pequeños productores nacionales puedan arrimar sus cosechas de café a las torrefactoras es necesario que el grano tenga una humedad entre 12-15 %, esto con la finalidad de que el grano se conserve y también pierda peso para poder pasar al proceso de trillado. Para secar el grano de café los pequeños productores acuden a secadores solares pero en muchos casos debido a que la época de cosecha y la temporada de lluvia están solapadas, secar al sol es casi imposible, es por eso que muchos medianos y pequeños productores nacionales utilizan el secado mecánico que es capaz de eliminar el excedente de humedad en un tiempo relativamente corto y con el menor daño posible sobre el grano. Los secadores mecánicos existentes en el mercado son de dimensiones relativamente altas, esto los hace costosos e inaccesibles para los pequeños productores. Estos equipos muchas veces son adquiridos por intermediarios que incrementan la cadena comercializadora y a su vez los precios. Se busca diseñar un equipo de mediana capacidad y que pueda operar en condiciones cinemáticas adversas.

1.2 Objetivos de la investigación.

1.2.1 *Objetivo General*

Diseñar un secador que permita reducir la humedad del café.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar prototipos y sugerencias de modelos existentes.
- Desarrollar las técnicas de diseño para la generación de ideas.
- Evaluar la cantidad de calor necesaria para el proceso de secado.
- Determinar la estructura de soporte y el recipiente para almacenar 1 tonelada (1000 kg) de café.
- Desarrollar la ingeniería de detalles y un manual para operación y mantenimiento del equipo.
- Incluir los planos de conjunto y de detalle.

1.3 Justificación del problema

En Venezuela la zafra del café esta solapada con la época de lluvia; razón por la cual los grandes productores se dotan de secadores mecánicos de café. El pequeño productor en cambio, en muchos casos por razones económicas, usan la energía solar para secar el grano en grandes patios, esta técnica es muy laboriosa y en ese sentido un secador mecánico de mediana capacidad sería de gran ayuda en el caso de contar con acceso a la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los equipos.

Este equipo ayudaría a reducir las horas hombre que se invierten en el procesamiento del grano de café, mejoraría la calidad del grano debido a que su exposición a agentes ambientales es menor y se garantiza la reducción de la humedad necesaria para la conservación y comercialización del grano, también

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

las horas que antes se dedicaban a la puesta al sol de los granos puede ser utilizadas en labores de recolección del grano verde o descanso de las personas.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

1.4 Antecedentes

El hombre a través de la historia ha sido un científico en el área del secado y conservación de los alimentos. Inicialmente el hombre experimentalmente o de forma empírica aprendió de las cualidades de la sal para extraer el agua de los alimentos, principal causante del deterioro de los alimentos. El hombre moderno utilizó la energía solar y por último con la llegada de la electricidad se crearon máquinas capaces de hacer casi cualquier cosa, incluso secar los alimentos. Todas estas técnicas anteriormente mencionadas son usadas en la actualidad según los niveles de tecnología a los que se tiene acceso y de los niveles de producción de estos alimentos.

En 1982 Jaime Henao presentó un trabajo en la Facultad de Agronomía UCV titulado: “El Café en Venezuela”, donde explica cuáles son las variedades de café presentes en nuestro país y todo el proceso de producción del café. Luego Henao (1991) presentó un trabajo titulado: “Curso sobre maquinaria y procesos para el beneficio húmedo del fruto del cafeto”, donde se hace mención de los diferentes tipos de equipos utilizados en el proceso de transformación del grano de café.

En 1999 Ballinas presentó el estudio de un secador solar semicilíndrico para granos, presentó su diseño y construcción. Experimentó con diferentes sistemas de absorción de energía solar y con diferentes espesores de capas. Este secador es del tipo estático y fue experimentado para maíz y sorgo húmedos. El tiempo de secado dura aproximadamente 3 días.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

En el año 2004 Bermúdez y Maiz desarrollaron sus tesis de pre grado en el diseño y construcción de un secador de alimentos de origen vegetal adaptado a las necesidades de algunos productores del Estado Amazonas, presentaron las distintas opciones por medio de métodos de diseño como lo son la tormenta de ideas y análisis morfológico. Se construyó un prototipo y se elaboraron curvas de secado bajo condiciones experimentales de temperatura y humedad presente en la zona, a través de las cuales se evidenció el uso de dicha máquina para el secado de alimento vegetal. Este secador es del tipo estático.

En el mismo año, 2004, Teixeira y Larios desarrollaron un trabajo de investigación titulado Diseño y construcción de un deshidratador indirecto de cacao mediante el uso de aire calentado por energía solar. Se determinó el contenido de humedad inicial del cacao fermentado para su posterior estudio. Se construyó un túnel de secado donde se realizaron diversas pruebas para la determinación de la humedad crítica, tiempo crítico, curvas y tiempo de secado para el cacao. Se construyó un prototipo de calentador solar de aire. Se desarrolló un modelo matemático del calentador solar de aire. Según el diseño propuesto en 0,9 m² mediante el uso del deshidratador indirecto de cacao se secan 10 kg. de cacao en 4 días.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1 El grano de café y su estructura.

Café es el nombre común de las semillas provenientes de los arbustos del género *Coffea* de la familia de las Rubiáceas. El arbusto de 4,6 a 6 m de altura en la madurez, tiene hojas aovadas, lustrosas, verdes, que se mantienen de tres a cinco años. Las plantaciones de café ocupan altitudes comprendidas entre el nivel del mar y el límite de las nieves perpetuas tropicales, que se encuentra a unos 1.800 m. La floración en los arbustos ocurre en los meses de mayo y junio y en el mes de septiembre se empieza la cosecha o recolección de las cerezas de café que guardan en su interior el apreciado grano [1].

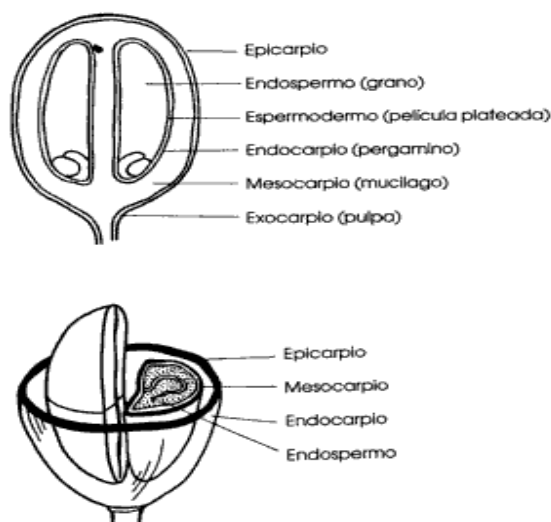


Figura 2.1: Estructura del grano de café. [1]

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

2.2 Beneficio del café.

El beneficio es todo el proceso que se realiza para obtener cafés uniformes y de alta calidad, este proceso está conformado por varias etapas y cada una de ellas se explica a continuación:

- Proceso de despulpado o cerezado: este proceso consiste en la separación del grano y de la pulpa que cubre al grano.
- Proceso de fermentación: consiste en la eliminación del mucílago, o baba, adherido al pergamino. Se efectúa en fosas donde el grano permanece de 14 a 20 horas sumergido totalmente en agua, o hasta cuando los granos, tomados en la mano y apretados, se escurran.
- Proceso de Lavado: en esta etapa el grano es lavado con el fin de eliminar el resto de mucílago, de azúcares libres o fenoles y de granos en mal estado.
- Proceso de secado: luego del lavado el grano debe ser escurrido para eliminar el exceso de agua en la superficie del grano y luego exponerlo a una corriente de aire para reducir su humedad. El secado puede ser solar, extendiendo el grano en patios de secado o mecánico usando secadoras. Existe también un híbrido entre secado solar y mecánico, en donde se utiliza la energía solar y elementos mecánicos. Este proceso debe ser realizado a temperaturas no mayores a 60°C ya que a altas temperaturas pueden originar que la pared celular mas externa se seque violentamente y la humedad interna en el grano no pueda salir.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- Trillado y pulido: este proceso comprende el descascaro, para eliminar el pergamino, y la pulida del grano, para eliminar la película plateada. Después de esta etapa el café está listo para ser comercializado.
- Tostado: es un proceso de pirolisis donde el grano es llevado de la temperatura ambiente hasta un rango de 200-300 °C durante un tiempo de 10 a 15 minutos.

2.3 Técnicas de secado

El grano de café está incluido en el grupo de los llamados cuerpos de escaso volumen, los cuales al estar juntos guardan espacios libres entre sí, este fenómeno facilita el proceso de secado, pero en el caso del café pergamino es necesario que lentamente se halle el equilibrio entre la humedad que contiene el grano y el medio ambiente que la rodea [11].

Los métodos usados para el secado del grano del cafeto

- Patios de cemento o de arcilla: el secado en patios es el método más utilizado por pequeños y medianos productores, básicamente por su baja inversión inicial y por la posibilidad de utilizar la energía solar, sin embargo este método supone varias limitaciones, entre ellas se encuentra la coincidencia del periodo de lluvias con las cosechas, el tiempo de duración del secado y la mano de obra necesaria para estas labores [9].

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- Gavetas de madera: las gavetas de madera con cubierta de techo rodante constituye una modalidad de equipo para secar café que se utiliza especialmente en plantaciones de limitada producción [9]. Entre sus ventajas podemos mencionar el bajo mantenimiento que requiere y una inversión inicial baja. El tiempo de secado es alto comparado con otros secadores, lo que se convierte en una desventaja.

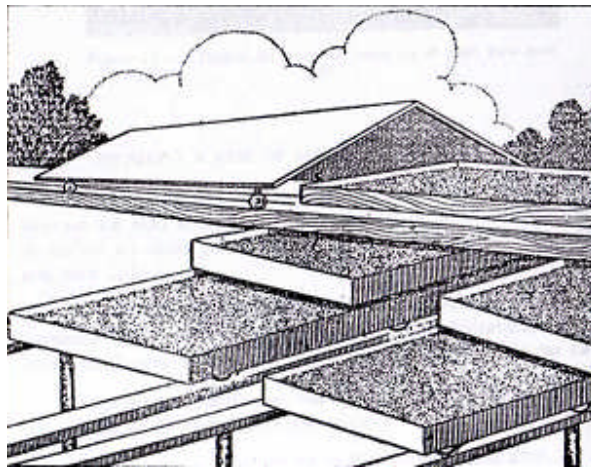


Figura 2.2: Secador de gavetas con techo rodante

- Patios con techo de vidrio: este método es igual al de patio sin cubierta con la diferencia de que el secado se obtiene en tres días con un nivel de humedad de 12 a 14 %, entre sus ventajas se encuentran: inicial con bajo costo de mantenimiento, duración de secado (72 horas), en caso de lluvia, no se corre el riesgo de que el grano se humedezca de nuevo [9].

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

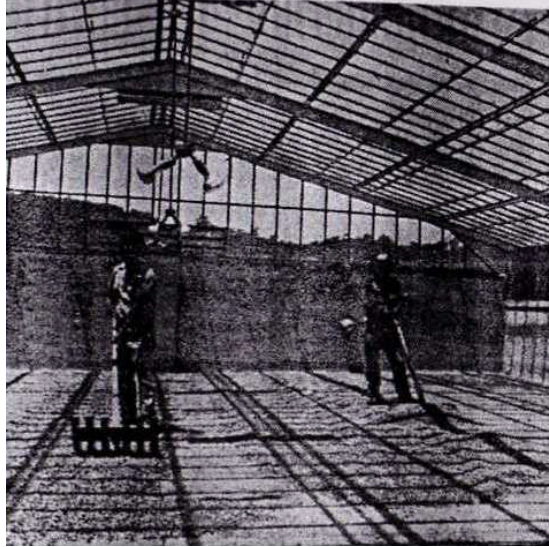


Figura 2.3: Patios con techo de vidrio [9].

- Equipos mecánicos, a base de aire caliente: el equipo conocido como “Guardiola” está compuesto por un tambor o cilindro de metal que está constituido por una lámina perforada, por donde sale al exterior el aire caliente, cargado de humedad y en su interior está dividido en cámaras o compartimientos. El tubo central o eje del tambor sirve para conducir el aire caliente que lo distribuye uniformemente al interior de cada cámara, a través de los tubos radiales, que están acoplados al eje central [9].

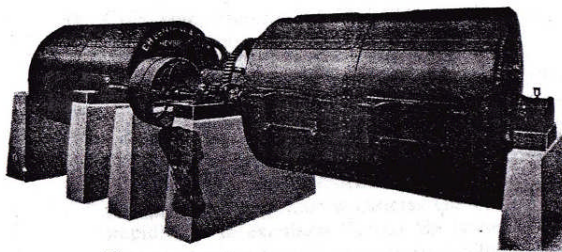


Figura 2.4: Secador rotativo [9].

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Además de este equipo existen innumerable cantidad de secadores del tipo mecánico a base de aire caliente, siendo la fuente de calor (gases de combustión, resistencia eléctrica, energía solar) la principal variación además de su esquema de funcionamiento, de forma general se puede decir que los secadores mecánicos están conformados por una fuente de generación de calor, un hogar donde se realiza el intercambio de calor y un ventilador.

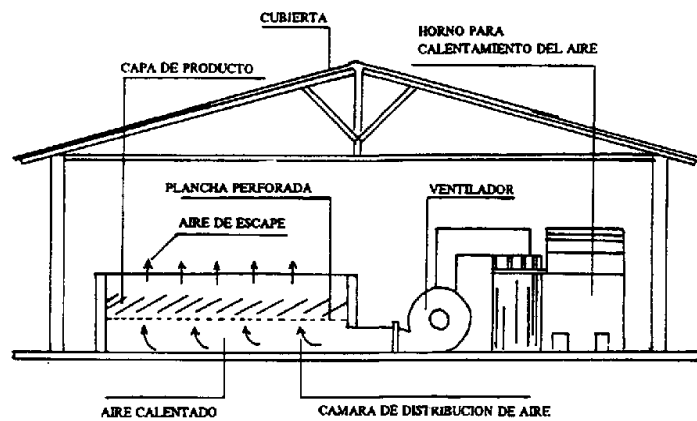


Figura 2.5: Secador horizontal de lecho estático

2.4 Conceptos básicos

Cuando se habla de eliminar el contenido de humedad (agua) de un producto resulta fácil confundir el término desecación y deshidratación. La desecación consiste en la eliminación de humedad de un cuerpo hasta que su contenido este en equilibrio con el medio en el cual se encuentra y la deshidratación consiste en la eliminación casi por completo de toda la humedad en el interior de un cuerpo [5].

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Humedad libre: Es la humedad en exceso que contiene un sólido sobre la humedad de equilibrio en unas condiciones dadas de temperatura y de humedad. Solo la humedad libre puede ser evaporada.

Evaporación superficial: Cuando el producto húmedo se expone a la acción de una corriente de aire caliente, el líquido que se encuentra en la superficie exterior se evapora aumentando la humedad del aire y reduciendo así la humedad del producto.

Contenido de humedad: El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, es decir, la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo. Otra forma de expresar el contenido de humedad es en base al peso seco, es decir, la masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados. La humedad de un cuerpo se puede determinar de varias formas, los métodos directos se basan en la eliminación del agua que contiene el sólido y determina la cantidad por pesada o por medios químicos, los métodos indirectos se basan en la medida de alguna propiedad del material que resulte afectada por el contenido de humedad.

Contenido de humedad en base húmeda (W_{bh}): Representa la humedad en un material como un porcentaje del peso del sólido húmedo. Se expresa como kg. de agua entre kg de material húmedo.

Contenido de humedad en base seca (W_{bs}): Se expresa como kg de agua entre kg de sólido seco.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Humedad crítica (W_c): Es el contenido de humedad promedio cuando la tasa de secado constante termina y comienza la tasa de secado decreciente. La humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino que es una función del material, su espesor, los mecanismos por los cuales el agua migra a la superficie y la velocidad y estado del medio secante.

Humedad de equilibrio (W_e): La humedad contenida en un sólido húmedo o en una solución ejerce una presión de vapor dependiente de la naturaleza de la humedad, de la naturaleza del sólido y de la temperatura. Si el sólido húmedo se expone a una corriente de gas con una presión parcial de vapor, el sólido perderá humedad por evaporación, o la ganará a expensas del gas hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a la presión parcial de dicha corriente gaseosa. El sólido y el gas entonces se encuentran en equilibrio y la humedad del sólido se denomina humedad de equilibrio. No es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de distintos materiales. En muchos casos resulta necesario obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado ya que esta disminuye con la temperatura.

Periodo de secado constante: Es el periodo de secado durante el cual la remoción de agua por unidad de área de secado es constante. Durante este período el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua. Este periodo continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de deshidratado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance un valor llamado humedad crítica [19].

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Periodo de secado decreciente: Es el periodo de secado en el cual la tasa de secado instantánea decrece continuamente. Este periodo comienza justo cuando se alcanza la humedad crítica. La migración de agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante.

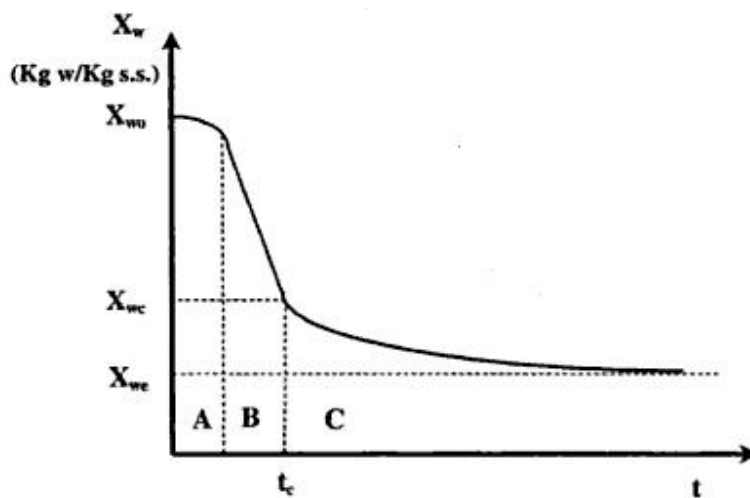


Figura 2.6: Curva típica de secado

2.5 Enconstramiento y empardeamiento.

Todos los granos tienen una capa exterior de protección que se denomina epicarpio y cuya función principal es proteger el interior del grano y actúa también como una membrana semipermeable.

Luego que la humedad de un grano se ha retirado por evaporación, el nivel de secado depende de la velocidad con la que su humedad interna se dirige a la

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

superficie, lo cual varía de un proceso a otro. Por ejemplo, los alimentos con azúcares liberan más lentamente los niveles de humedad, por lo que necesitan más tiempo para su deshidratación. El tamaño es un factor importante que se debe considerar, entre más pequeño sea el cuerpo mayor será el área superficial en contacto con el aire, además la distancia que debe recorrer la humedad para llegar a la superficie disminuirá. Entonces sin duda al cortar o seccionar un cuerpo húmedo su velocidad de secado aumentará [5].

Cuando se tienen alimentos donde su precio está directamente relacionado con las esencias y olores que estos pueden generar es importante considerar las técnicas de secado que se usarán en su procesamiento. Un proceso de secado rápido está relacionado con temperaturas medianamente altas que en alimentos ricos en almidones puede ocasionar un fenómeno llamado encostramiento [5].

El encostramiento se produce cuando el agua que hay dentro del alimento no puede salir debido a la velocidad con que se ha secado la superficie. Así, el proceso de secado puede verse interrumpido si la superficie del alimento se seca por completo, creando una costra que evita que la humedad que estaba emergiendo continúe su curso [5].

Elevar la temperatura también puede generar la destrucción de las vitaminas en los alimentos y la pérdida de color y sabor. Es así como se puede producir otro fenómeno llamado emparedamiento causado por reacciones químicas y bioquímicas o por sobrecalentamiento.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

2.6 Circulación del aire

El aire circula dentro del secador con el fin de entregar calor a los productos, así como eliminar la humedad evaporada del mismo. Esta circulación puede ser:

- **Circulación forzada:** El aire inicialmente pasa por un ventilador donde a través de un intercambio de momentum incrementa su velocidad.
- **Circulación por convección natural:** El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire.

Los secadores que funcionan bajo el principio de circulación forzada son altamente eficientes pero requieren una fuente de energía eléctrica para su funcionamiento, hecho que se puede considerar como poco ventajoso.

2.7 Velocidad de secado

En el proceso de secado como ya se ha dicho la velocidad de secado es de gran importancia ya que está íntimamente relacionada con la calidad del producto final.

Las variables que influyen en la velocidad de secado son:

- **Naturaleza del material:** Es evidente que los materiales de acuerdo a su composición interior presentaran diferentes velocidades de secado y en

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

consecuencia las curvas que describen en proceso de secado serán diferentes.

- Temperatura del aire: Al aumentar la temperatura del aire de secado la velocidad de secado será mayor y la pendiente de las curvas aumentarán, esto si no se modifica ninguna otra variable.
- Velocidad másica del aire: Al aumentar la velocidad del aire la velocidad de secado aumentará, aunque se puede pensar que nada tiene que ver la velocidad del aire sino su capacidad para transferir masa, función que es dependiente de la humedad relativa y la humedad absoluta.
- Humedad absoluta del aire: Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente la velocidad de secado.
- Tamaño de partícula del sólido: La velocidad de secado es inversamente proporcional al tamaño de las partículas, esto debido a que al ser las partículas más pequeñas el área que tiene contacto con el aire aumenta y aumenta así el calor que se transfiere.

2.8 Medición de humedad en el grano

El contenido de humedad del grano puede ser expresado en base seca o en base húmeda. La humedad en base seca es usada en trabajos de carácter científico y es la cantidad de agua que tiene el gran en relación solamente a la cantidad de materia seca. La humedad en base húmeda es la cantidad de agua que tiene el grano en total, o sea, sobre su peso de materia seca más agua. Es el dato que dan los medidores de humedad comunes usados en la industria. Mediante las siguientes ecuaciones se puede determinar la humedad base seca y base humedad respectivamente.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Wn: Peso del agua

Wd: peso de material seco

Md: Humedad base seca

Mw: Humedad base húmeda

$$Mw = \frac{Wn}{Wn + Wd} \times 100$$

$$Md = \frac{Wn}{Wd} \times 100$$

2.9 Determinación de la humedad en el grano

Para determinar la humedad del grano de café se puede utilizar un procedimiento análogo al utilizado para determinar la humedad del grano de cacao según Norma COVENIN 374-95.

2.10 Producción Nacional de café.

La producción nacional de café se estima entre 1 y 1,2 millones de quintales (46 kilogramos por quintal) que se dedican exclusivamente al consumo interno. El precio del quintal de café verde es de 460 bolívares. La especie que se produce en el territorio nacional en su mayoría es del tipo arábigo siendo las especies Canéphora y Liberia poco producidas.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

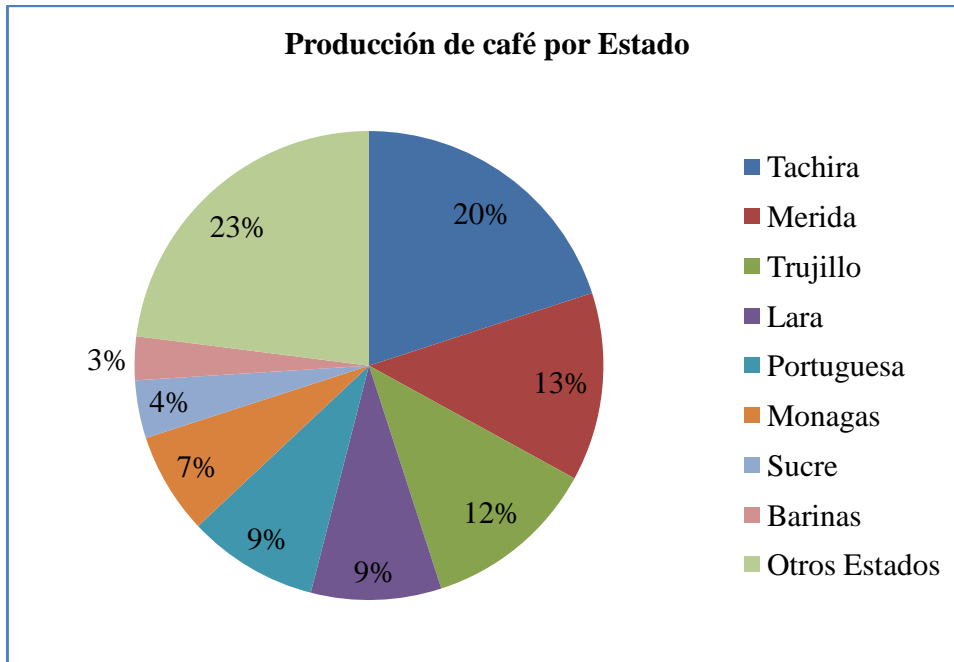


Figura 2.7: Producción de café por Estado.

El cultivo del café en términos generales se da entre los 800 y 1600 m.s.n.m. y se puede observar en la figura 2.4 la ubicación de los estados productores y la altura sobre el nivel del mar de estos, no resulta casual que estos estados estén ubicados sobre la cordillera de los andes o en algunas zonas montañosas [9].

2.11 Pequeños productores

Se hace necesario también definir a los pequeños productores como aquellas personas que se dedican a la actividad agrícola o pecuaria de forma independiente y en donde no existen relaciones de dependencia a un patrón. Los pequeños productores muchas veces son parte una misma familia o incluso se encuentran organizados en forma de cooperativas.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

2.12 El clima en Venezuela

Por su posición latitudinal, Venezuela está bajo la influencia de la hondonada intertropical de bajas presiones ecuatoriales, donde convergen los vientos alisios del noreste y del sureste. Como consecuencia de la circulación general de la atmósfera, de diciembre hasta abril la mayor parte del país está afectada por la zona alisio del noreste, que origina fuertes inversiones de temperatura a alturas de 1500 a 2000 msnm. Por encima de esa altura, el aire carece por completo de humedad, produciendo así la temporada seca en Venezuela. La región norte del país se ve afectada con relativa frecuencia por perturbaciones de origen extra tropical, especialmente frentes fríos, entre enero y abril, que provocan precipitaciones dentro de la temporada seca [9].

Desde mediados de abril hasta noviembre, debido al desplazamiento gradual del sistema de presiones hacia al norte, el país está casi en su totalidad bajo la influencia de la zona de convergencia intra tropical, que determina la temporada lluviosa sobre Venezuela.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

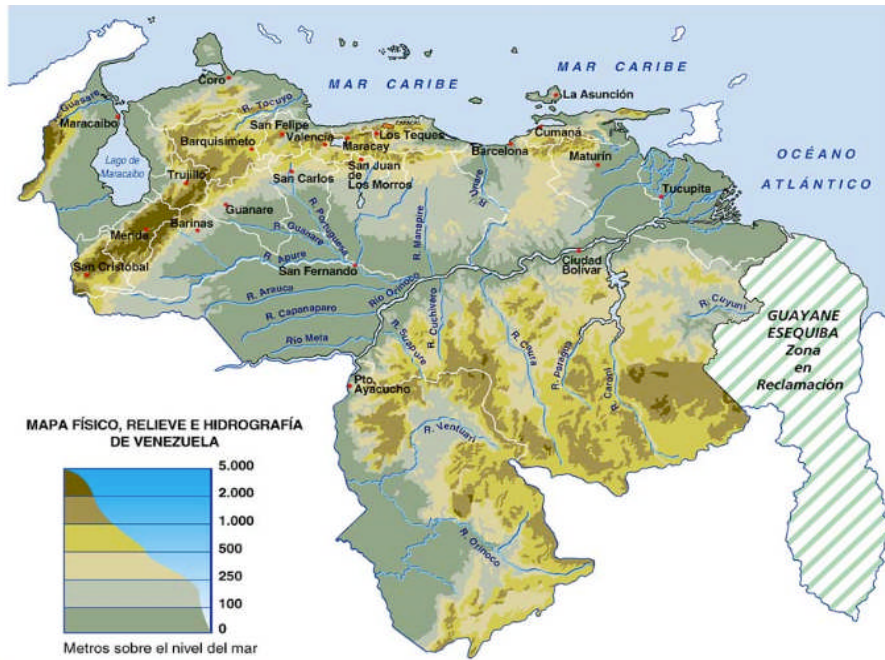


Figura 2.8: Mapa físico, relieve e hidrografía de Venezuela.

2.13 Técnicas de diseño

De forma general se puede decir que un problema no tiene una única solución y usualmente cuando un caso o problema es planteado a diferentes diseñadores lo más probable es que las respuestas que estos den al problema sean diferentes. Basado en este hecho se ha establecido la técnica que se conoce como Tormenta de Ideas ideado por Alex Osborn y que consiste en reunir un grupo multidisciplinario (4 a 12 personas) para trabajar sobre un problema. El grupo debe trabajar sobre las siguientes reglas:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

No se permite ninguna evaluación o juicio sobre las ideas.

Tratar de que los participantes generen ideas y las expongan en la forma más espontanea posible.

Debe buscarse cantidad de ideas porque esto ayudara a evitar evaluarlas internamente y porque cantidad, en este caso genera calidad.

Debe promoverse entre los miembros del grupo que construyan (o modifiquen) sobre las ideas de otros, porque esto generalmente desemboca en ideas superiores a las iniciales.

(Según Milani R. “Diseño para nuestra realidad”)

Luego de aplicar esta técnica obtenemos como resultado un grupo de posibles soluciones, esto se convierte ahora en un problema ya que todas las ideas en forma teórica resuelven el problema planteado. Para resolver esta situación se utiliza una matriz de decisión, este método consiste en un cuadro donde se colocan en una columna los criterios, estableciéndoles un valor ponderado de acuerdo a su importancia, y en una fila las alternativas de solución, de manera que se le va asignando una puntuación a cada uno y la suma final debe ser la ponderación asignada. Las ponderaciones pueden variar de acuerdo al usuario y a la cantidad de criterios a evaluar. La idea es no repetir estas ponderaciones, de manera que los criterios más importantes resalten en la selección.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

Para cumplir con los objetivos que se plantearon en el siguiente trabajo se desarrollaron tres etapas en siguiente orden:

1. Etapa I: esta etapa comprende la recolección de información bibliográfica y todo el material que permita conocer todos los aspectos que abarca el problema.
2. Etapa II: desarrollo del diseño del secador.
3. Etapa III: Elaboración de los planos del secador.

3.1 Recolección de información bibliográfica.

Para el desarrollo de la primera etapa se realizó una revisión bibliográfica la biblioteca de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela “Luis Zambrano” en el área de secado de granos. Con el mismo fin se realizaron varias visitas a la biblioteca de la Universidad Central de Venezuela. Se realizó la búsqueda de la normativa nacional vigente para el procesamiento de granos y alimentos.

Adicionalmente se establecieron entrevistas con productores de café de los estados Lara y Portuguesa. Además, se obtuvo información de documentales audiovisuales de origen nacional transmitidos por la televisión local con el nombre de Semillas y Senderos; programa de corte agropecuario, destinado a reflejar el esfuerzo de productores de distintos sectores agropecuarios del país de pequeña y mediana escala. También se obtuvo información a través de internet, buscando documentos, material audiovisual e investigaciones

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

realizadas por universidades de otros países productores de café (Colombia, Costa Rica y Guatemala).

Para finalizar la primera etapa de investigación se realizó una visita a diferentes tiendas agropecuarias para visualizar algún comercial de manera que se pueda comparar en funcionalidad con el modelo a desarrollar.

3.2 Desarrollo conceptual de la secadora.

Con toda la información acumulada en la etapa de investigación y teniendo ya algunas ideas concretas para el desarrollo del modelo, se decide crear un grupo multidisciplinario para la generación de ideas. Este grupo conformado por Reinaldo Díaz, Williams Silva, Rubén Salcedo, Alejandra Cadenas y Romí Arvelo, reunidos en los diferentes espacios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV plantearon las siguientes ideas que se enumeran y explican a continuación:

1. Secador Rotativo con resistencia eléctrica. La generación de calor y su distribución depende de un ventilador de tipo forzado y una resistencia eléctrica ubicada a la descarga del ventilador.
2. Secador a gas. Es un secador rotativo con quemador a gas tipo venturi, el modelo requiere de ventilador. Consta de un cilindro horizontal, donde se depositan los granos húmedos, una estructura de soporte, un motor eléctrico para girar el cilindro. El quemador se ubica del lado derecho de la maquina.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

3. Secador de tipo mecánico, estático. Su estructura permite la colocación de una gaveta donde se ubican los granos húmedos. El ventilador es de tiro forzado y está colocado en la parte inferior de la estructura. Requiere una resistencia eléctrica ubicada a la descarga del ventilador.
4. Secador solar. Este secador fue propuesto por Miguel Malave y Daniel Gonzales en 1990 como trabajo especial de grado. Es del tipo silo, presenta una estructura piramidal truncada, un receptor de radiación solar que calienta el aire y un ventilador ubicado en la parte inferior de la pirámide para hacer circular el aire. Es un secador del tipo estático.
5. Secador cilíndrico vertical. Es un secador del tipo mecánico estático. Está conformado por un cilindro vertical y en la parte inferior del cilindro tiene un ventilador acompañado de una resistencia eléctrica. Ver figura 3.1.
6. Secador Diesel. Este secador utiliza un motor diesel para impulsar un ventilador y hacer girar un cilindro horizontal, los gases que se generan debido a la combustión son llevados a un intercambiador de calor provisto de aletas por donde circulara el aire impulsado por el ventilador para luego dirigirse al cilindro donde se encuentran los granos depositados.
7. Secador Compresor. Este secador está provisto de un compresor de aire acompañado de un sistema de secado de aire, un gran caudal de aire entra en contacto el grano y evapora el agua en la superficie del grano. Este secador es de tipo mecánico estático.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

8. Secador centrifugo. Este sistema está conformado por un recipiente cilíndrico vertical y un motor eléctrico. El motor ubicado en la parte central inferior del cilindro lo hace girar a gran velocidad, esta velocidad genera una fuerza centrífuga y genera un secado físico. El funcionamiento es análogo a la estación de secado de una lavadora convencional.

9. Secador solar semicilíndrico. Propuesto por Mario Ballinas en su tesis de grado en el año 1990. Está conformado por un dispositivo que capta la radiación solar y el calor captado es impulsado por un ventilador a una cámara semicilíndrica donde los granos reposan sobre una serie de bandejas. Fue ensayado para granos de maíz y sorgo con resultados muy positivos.

10. Secador Mixto I. Este secador incorpora dos fuentes de calor, una es una resistencia eléctrica y la otra un panel solar. Es un secador mecánico estático.

11. Secador Mixto II. Este secador incorpora dos fuentes de calor, una es un quemador a gas y el otro un panel solar. Es un secador mecánico estático.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

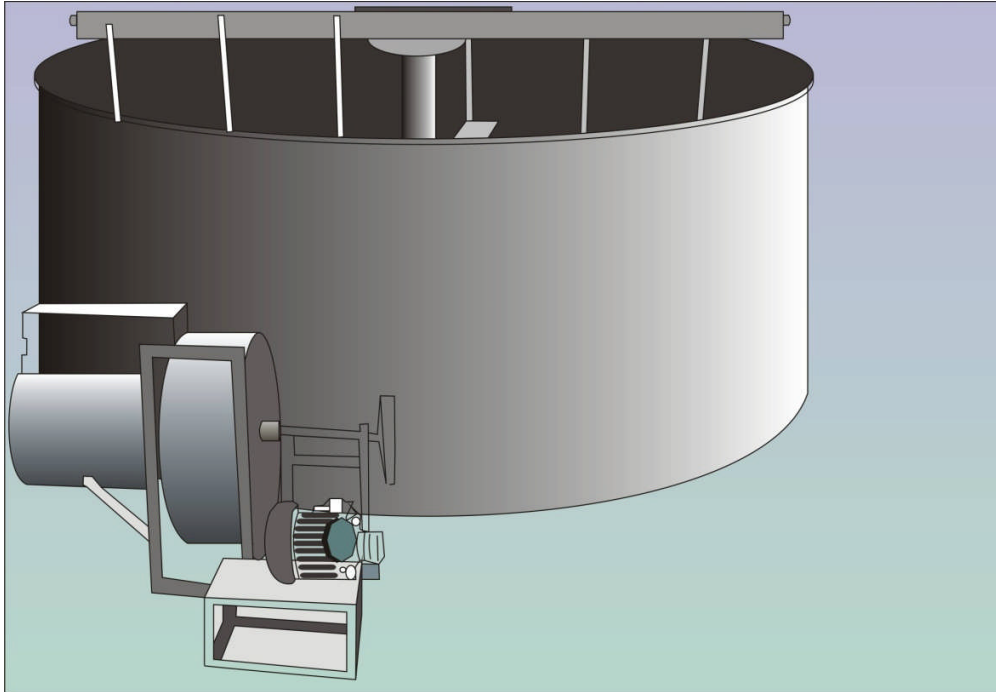


Figura 3.1: Secador cilíndrico vertical.

Luego de revisar la lista de resultados, se procede a determinar los parámetros de selección, que determinaran la idea más apropiada según los criterios de diseño impuestos y propuestos. Dichos parámetros se listan y explican a continuación:

- Costo del equipo: Está relacionado con el valor de los materiales, equipos y procedimientos de construcción necesarios para la construcción de la secadora.
- Eficiencia: para nuestro diseño el término eficiencia va a ser una función que depende del consumo energético del equipo para cumplir su cometido.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- Efectividad: es la capacidad para producir el efecto deseado, en este caso, reducir la humedad del café hasta un 12%.
- Versatilidad: es la capacidad que tiene el equipo usarse con diferentes fines o la capacidad de adaptarse a diferentes necesidades.
- Mantenimiento: es el proceso en el cual se verifica el estado del equipo para asegurar su funcionamiento correcto. Este proceso puede ser preventivo o correctivo. Debe ser sencillo y económico.
- Durabilidad: tiempo de vida útil del sistema, esto dependerá de los materiales seleccionados para la construcción y si estos están confinados o expuestos a la intemperie.
- Espacio ocupado: se refiere a la cantidad de espacio necesario para la máquina y su operación.
- Disponibilidad: las piezas, herramientas y procesos de fabricación no siempre están disponibles dentro de la geografía nacional, por eso es importante que para su fabricación no sea necesaria la importación de alguna de las partes o instrumentos.
- Confiabilidad: se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

En la tabla 3.1 se muestra un cuadro donde se señala en términos porcentuales el valor que cada característica tiene para el grupo de generación de ideas y el diseñador.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Nº	Criterio a Evaluar	Porcentaje(%)
1	Costo	20
2	Durabilidad	15
3	Disponibilidad	15
4	Efectividad	10
5	Versatilidad	10
6	Mantenimiento	12
7	Confiabilidad	8
8	Eficiencia	5
9	Espacio Ocupado	5

Tabla 3.1: Ponderación porcentual de las características.

3.3 Matriz de selección.

A continuación se muestra una tabla donde se muestra la ponderación que el grupo de generación de ideas le otorgo a cada propuesta, es necesario indicar que la unidad (1) el mínimo valor otorgado y cinco (5) el máximo por cada característica.

Propuesta	Costo	Eficiencia	Efectividad	Versatilidad	Mantenimiento	Durabilidad	Espacio Ocupado	Disponibilidad	Confiabilidad	Total
1	2	3	3	2	3	3	3	4	3	26
2	3	3	4	3	3	3	3	5	4	31
3	3	1	1	2	4	3	4	5	3	26
4	2	5	2	4	4	2	2	3	4	28
5	3	3	2	1	3	3	3	5	3	26
6	1	5	3	4	1	3	2	2	3	24
7	2	3	2	3	3	2	2	4	4	25
8	2	2	1	1	3	3	2	3	2	19
9	4	3	2	1	5	2	1	2	1	21
10	2	4	4	4	1	2	2	2	4	25
11	2	4	4	4	1	2	2	2	4	25

Tabla 3.2: Evaluación de las propuestas.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

La tabla 3.2 muestra los valores asignados por el grupo de diseño pero ahora los valores fueron multiplicados por el factor porcentual de importancia de acuerdo a lo acordado en la sesión de generación de ideas.

Propuesta	Costo	Eficiencia	Efectividad	Versatilidad	Mantenimiento	Durabilidad	Espacio Ocupado	Disponibilidad	Confiabilidad	TOTAL
1	0.4	0.15	0.3	0.2	0.36	0.45	0.15	0.6	0.24	2.85
2	0.6	0.05	0.4	0.3	0.36	0.45	0.15	0.75	0.32	3.38
3	0.6	0.25	0.1	0.2	0.48	0.45	0.2	0.75	0.24	3.27
4	0.4	0.15	0.2	0.4	0.48	0.3	0.1	0.45	0.32	2.8
5	0.6	0.25	0.2	0.1	0.36	0.45	0.15	0.75	0.24	3.1
6	0.2	0.15	0.3	0.4	0.12	0.45	0.1	0.3	0.24	2.26
7	0.4	0.15	0.2	0.3	0.36	0.3	0.1	0.6	0.32	2.73
8	0.4	0.1	0.1	0.1	0.36	0.45	0.1	0.45	0.16	2.22
9	0.8	0.15	0.2	0.1	0.6	0.3	0.05	0.3	0.08	2.58
10	0.4	0.2	0.4	0.4	0.12	0.3	0.1	0.3	0.32	2.54
11	0.4	0.2	0.4	0.4	0.12	0.3	0.1	0.3	0.32	2.54

Tabla 3.3: Matriz de selección.

Como se puede observar en la tabla las propuestas 2, 3 y 5 son las que más puntaje obtuvieron siendo la propuesta 2 la opción de mayor puntuación.

3.4 Descripción del modelo de diseño.

Al revisar todas las propuestas que se generaron en la tormenta de ideas y ya con una visión general del equipo se decide diseñar un secador mecánico rotativo conformado por un cilindro horizontal soportado por una estructura de acero, la fuente de calor es un quemador a gas y el medio de transporte del calor es a través de un flujo volumétrico de aire impulsado por un ventilador, el movimiento del cilindro se logra con la ayuda de un motor reductor y un eje

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

que transmite el torque del motor reductor al cilindro horizontal. A continuación se muestra un boceto de la propuesta.

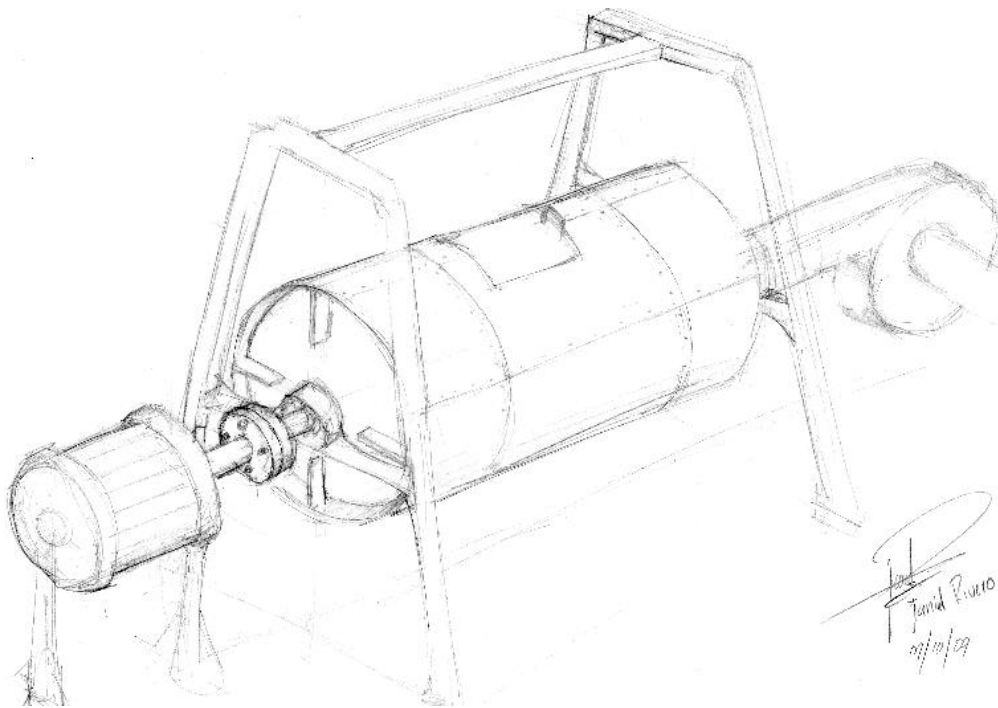


Figura 3.2: Secador cilíndrico horizontal.

3.5 Dimensionamientos del cilindro.

Para el dimensionamiento del cilindro es necesario considerar cual es el volumen que 1000 kg de café ocupan en el cilindro y si se desea llenar todo el cilindro o solo una parte de este. En este diseño por ser necesaria una superficie de contacto entre los granos de café y el aire se establece que el volumen de café solo debe ocupar la mitad del volumen del cilindro y el volumen restante servirá para el flujo volumétrico de aire. De esta manera y conociendo la densidad del café verde se procedió al siguiente cálculo:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

$$\rho_{cafe} = 826 \text{ kg/m}^3. \quad [1]$$

Siendo la densidad inversamente proporcional al volumen específico se tiene:

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{826} = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para calcular el volumen se tiene:

$$V_{caf} = v \cdot m = 1,21 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1,21 \text{ m}^3$$

Este volumen representa la mitad de la capacidad del cilindro por lo tanto el volumen del cilindro será:

$$V_{cilind} = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

Donde L representa la longitud en metros del cilindro y r es el radio del cilindro.

$$V_{cilind} = 2 \cdot V_{caf}$$

Partiendo de un radio máximo del cilindro de 0,6 metros se puede determinar la longitud del cilindro.

$$L = \frac{2 \cdot 1,21}{\pi \cdot 0,6^2} = 2,14 \text{ m}$$

Haciendo un análisis de flexión en el cilindro sabiendo que el peso en su interior se comporta como una fuerza distribuida tenemos:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

$$w_1 = \frac{W}{L} = \frac{1000\text{kgf}}{2,14\text{m}} = 468 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} = 4600 \text{ N/m}$$

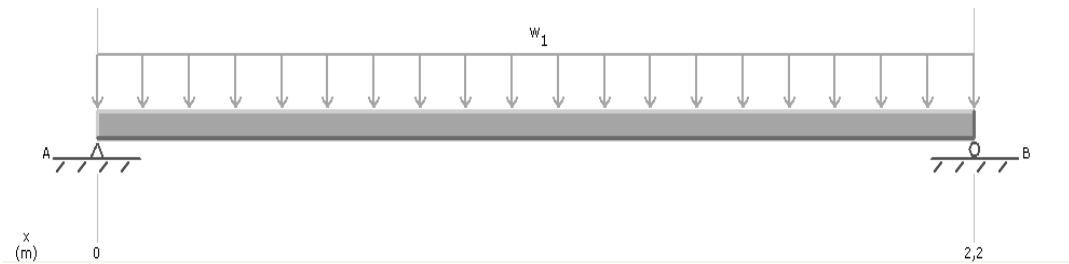


Figura 3.3: Fuerza distribuida sobre el cilindro.

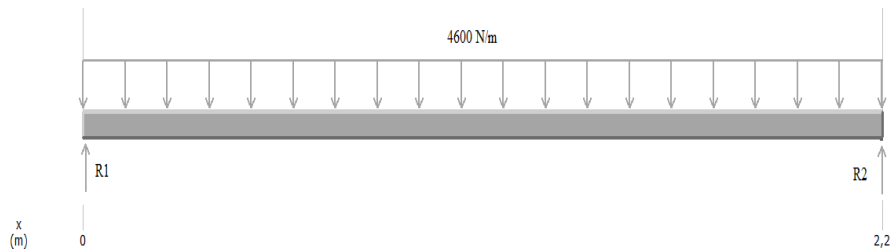


Figura 3.4: Diagrama de cuerpo libre para el cilindro

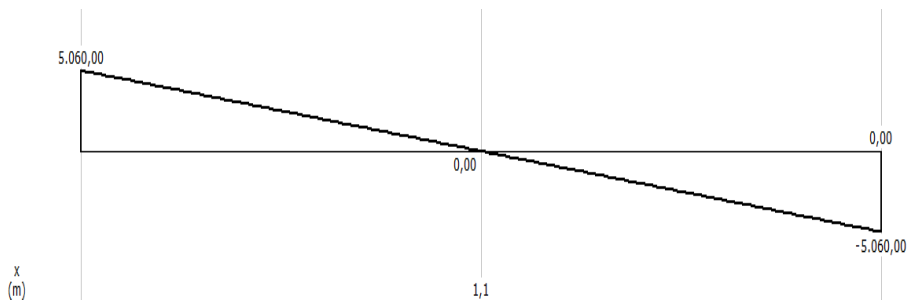


Figura 3.5: Diagrama de fuerza cortante para el cilindro

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

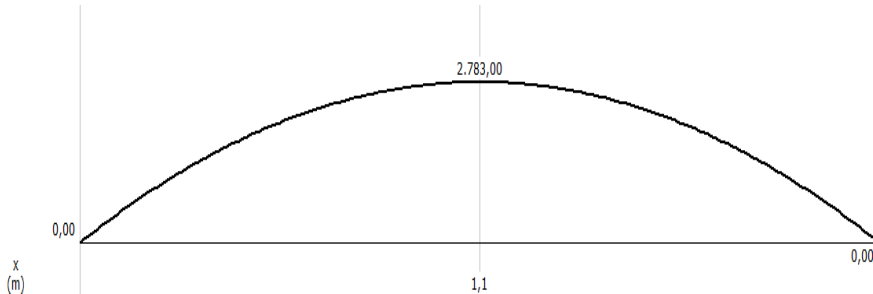


Figura 3.6: Diagrama de momento flector para el cilindro

$$I_{cil} = 7,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\tau_{cil} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{2783 \cdot (0,6 - 0,59)}{7,69 \cdot 10^{-4}} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_{perm} = \frac{0,577 \cdot S_y}{N} = \frac{0,577 \cdot 241 \cdot 10^6}{4} = 34,76 \text{ MPa}$$

$$\tau_{cil} < \tau_{perm}$$

$$y_{cil} = \frac{-5 \cdot W \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{-5 \cdot 9800 \cdot 2,14^4}{384 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot 7,69 \cdot 10^{-4}} = 1,68 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$y_{perm} = \frac{l}{100} = \frac{2,14}{100} = 2,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$y_{perm} > y_{cil}$$

3.6 Cálculo de la estructura

La estructura está conformada por perfiles del tipo UPN de fabricación nacional y a continuación se muestra un esquema del mismo.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

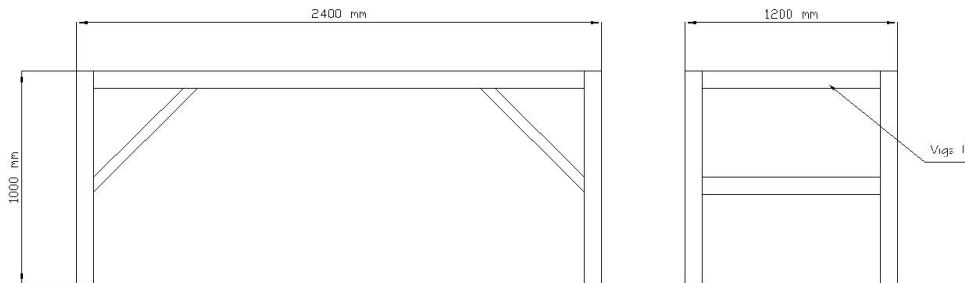


Figura 3.7: Vista lateral de la estructura de soporte.

La viga 1 se encuentra sometida a flexión y se encuentra doblemente empotrada se procede a verificar la falla por esfuerzo cortante y deflexión.

$$\sum F = 0; \quad R1 + R2 - 5100N = 0$$

$$\sum M = 0; \quad M1 - M2 - 5100 \cdot 0.6 + R2 \cdot 1,2 = 0$$

$$R1 = R2 = \frac{F}{2} = \frac{5100}{2} = 2550 \text{ N}$$

$$M1 = M2 = \frac{F \cdot a}{8} = \frac{5100 \cdot 1,2}{8} = 765 \text{ N} \cdot m$$

$$y_{max} = \frac{-F \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot I} = -\frac{5100 \cdot 1,2^3}{192 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot 106 \cdot 10^{-8}} = 2.1 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

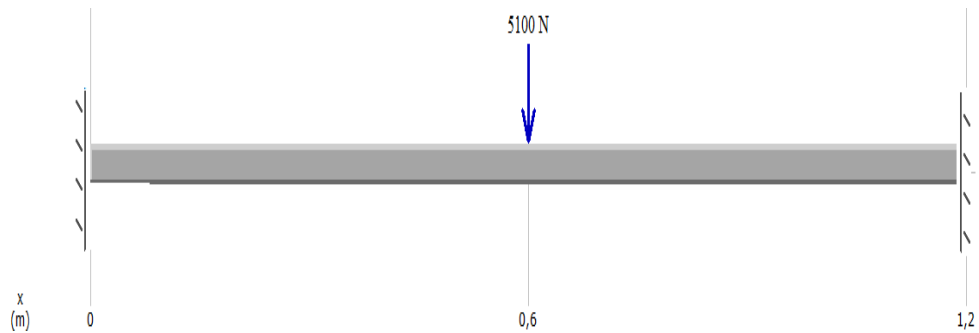


Figura 3.8: Carga concentrada sobre la viga.

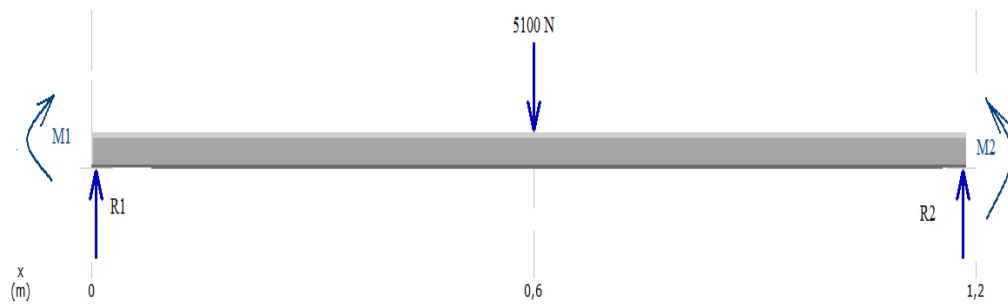


Figura 3.9: Diagrama de cuerpo libre de la viga

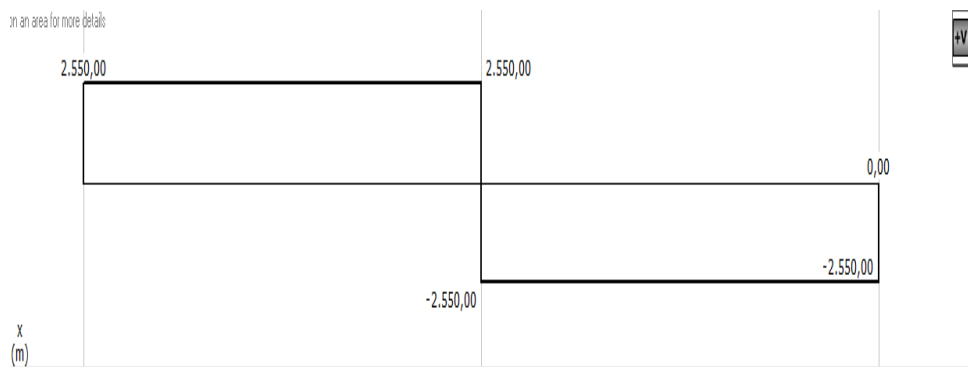


Figura 3.10: Diagrama de fuerza cortante sobre la viga

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

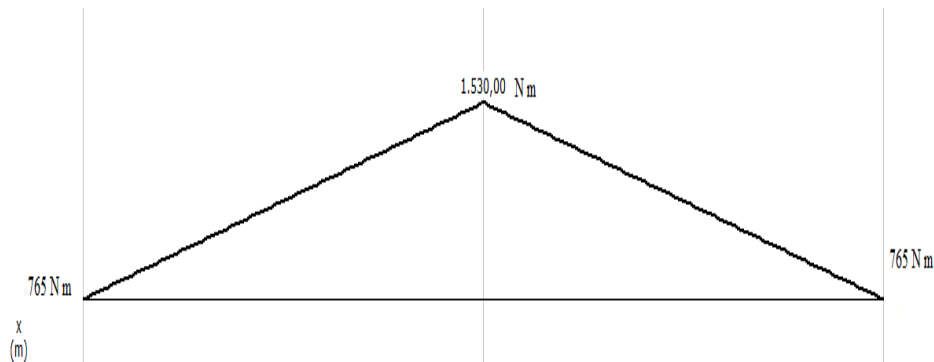


Figura 3.11: Diagrama de momento flector sobre la viga

Para cuidar la estética en el diseño se ha introducido un parámetro de diseño equivalente a una deflexión máxima permisible igual a $y_{perm} = l/100$.

$$y_{perm} = \frac{1200}{100} = 12 \text{ mm}$$
$$y_{max} < y_{perm}$$

El esfuerzo cortante debido a la flexión se puede calcular como:

$$\tau_{max} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{765 \cdot 0.04}{106 \cdot 10^{-8}} = 28,86 \text{ MPa}$$

Haciendo uso de la teoría de la energía de distorsión en materiales dúctiles se tiene:

$$\tau_{perm} = \frac{0.577 \cdot S_y}{N} = \frac{0.577 \cdot 250 \cdot 10^6}{3} = 48,08 \text{ MPa}$$
$$\tau_{perm} > \tau_{max}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

El elemento vertical está sometido a una carga axial a compresión su vinculación es del tipo empotrada y simplemente apoyada ($K = 2$), además tiene una longitud de 1 metro, el perfil es un UPN 80 de fabricación nacional.

$$\sum F = 0 \quad R1 = 2550N = 2.5kN$$

$$Le = K \cdot L = 2 \text{ m}$$

$$RE = K \cdot L/r = 2/0.0133 = 150.4$$

$$Cc = \sqrt{2 \cdot \pi^2 \cdot E / Sy} = \sqrt{2 \cdot 3.14^2 \cdot 207 \cdot 10^9 / 250 \cdot 10^6} = 128$$

$$Cc < RE$$

$$Pcr = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2}$$

$$Pcr = \frac{3.14^2 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot 19.4 \cdot 10^{-8}}{(2)^2} = 98.98 \text{ kN}$$

$$Pr \gg P$$



Figura 3.12: Columna libre empotrada

3.7 Cálculo de la soldadura

La soldadura es colocada para garantizar que la fuerza que soporta la viga horizontal sea transferida a las columnas, debido al espesor de las laminas que conforman los perfiles se establece una garganta mínima de soldadura de

El electrodo seleccionado para la soldadura es el E60XX

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Se calcula ahora el segundo momento de área unitaria (I_u):

$$I_u = \frac{d^2}{12} \cdot (6b + d) = \frac{14^2}{12} \cdot (6 \cdot 6 + 14) = 816.67 \text{ cm}^3 = 8.16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

El segundo momento de área de inercia (I) se puede obtener de la siguiente manera:

$$I = 0.707 \cdot h \cdot I_u = 0.707 \cdot 0.003 \cdot 8.16 \cdot 10^{-4} = 1.73 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Ahora se puede determinar el esfuerzo cortante secundario (τ') en la garganta.

$$\tau_{nom} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{1225 \cdot 0.07}{1.73 \cdot 10^{-6}} = 49.56 \text{ MPa}$$

La magnitud del cortante es la ecuación pitagórica:

$$\begin{aligned} \tau &= \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2} \\ \tau &= \sqrt{4.62^2 + 49.56^2} = 49.73 \text{ MPa} \\ N &= \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0.577 \cdot 345}{49.73} = 4 \end{aligned}$$

Como el factor de diseño es mayor a la unidad se puede concluir que la soldadura tiene una resistencia satisfactoria y se muestra un detalle de la soldadura en la Fig. 3.12.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

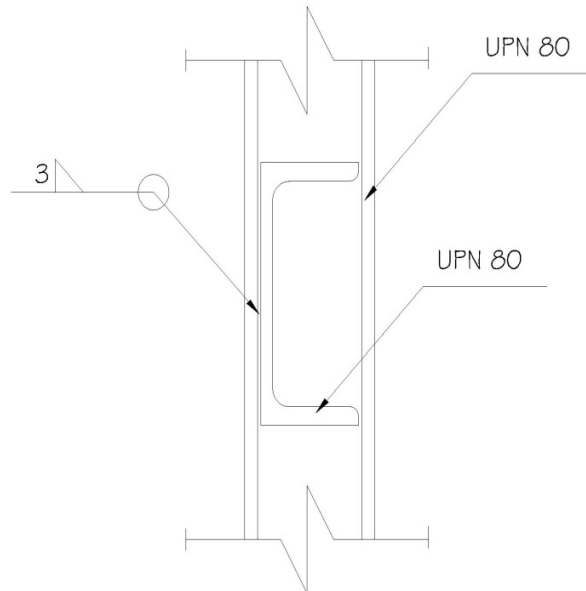


Figura 3.13: Detalle de soldadura para perfil UPN80.

3.8 Selección del motor eléctrico.

Los motores eléctricos convencionales giran a velocidades relativamente altas en comparación con la velocidad que exigen muchos procesos industriales de manufactura. Para reducir la velocidad suministrada por el eje del motor se usan reductores mecánicos. Los reductores consisten en un juego de engranajes que permite obtener una fracción de la velocidad de entrada. Para seleccionar un motor-reductor es necesario conocer el par torsor en el eje y la velocidad con la cual se desea trabajar. En nuestro caso vamos a operar a una velocidad de 10 rpm y el par torsor se calcula a continuación:

Inercia del cilindro:

$$J = 2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot t = 1,35 \cdot 10^{-3} m^4$$

$$Jm = I \cdot \rho \cdot L = 22,8 kg \cdot m^2$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Inercia rigidizador:

$$J = \frac{43,3}{100^4} + \frac{5,07}{100^2} \cdot 0,57^2 = 1,65 \cdot 10^4 \text{ m}^4$$
$$Jm = J \cdot \rho \cdot L \cdot 4 = 11,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia de las paletas:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = 8,33 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$
$$J = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$
$$Jm = Jcm \cdot \rho \cdot L = 0,471 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia del café:

$$Jm = \frac{m \cdot d^2}{16} = 90 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia de las tapas:

$$J = \frac{m \cdot d^2}{8} = 6,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia Total:

$$Jt = \sum J = 130 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Ecuación de conservación de la energía:

$$Ec = J_a \cdot \frac{(\omega_a)^2}{2} = J_b \cdot \frac{(\omega_b)^2}{2}$$
$$Jm = \frac{130 \cdot 10}{1800} = 0,72 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Admitiendo una aceleración uniforme:

$$Ta = Jm \cdot \frac{d\omega}{dt} = 0,72 \cdot \frac{1,0188,5}{0,5} = 271 \text{ N} \cdot \text{m} = 2471 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Par resistente por fricción:

$$F_c = 9800 \cdot 0,001 = 98 \text{ N}$$

$$T_c = 9,8 \cdot 0,6 = 5,88 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Torque total en el reductor:

$$T_t = T_a + T_c = 277 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El motor reductor debe tener la capacidad de superar la inercia del cuerpo del cilindro para empezar su movimiento debido a eso se hace necesario el cálculo del par torsor de resistencia al motor T_a .

De la ecuación de general de movimiento en el centro instantáneo de rotación tenemos:

$$P_m = T_t \cdot \omega = 271 \cdot 10 \frac{2 \cdot \pi}{60} = 281 \text{ W} \cong 0,5 \text{ hp}$$

3.9 Cálculo de la soldadura en el cilindro

Para el cálculo de la soldadura en las tapas del cilindro vamos a considerar 3 fuerzas, una fuerza de flexión debido al peso y una fuerza de torsión que genera el movimiento y un cortante debido al peso.

- Por flexión:

$$fb = \frac{M}{Ju} = \frac{F \cdot b}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{9800 \cdot 1,1}{3,14 \cdot \frac{1,2^2}{4}} = 9536 \text{ N/m}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- Por torsión:

$$f_t = \frac{T \cdot c}{J_u} = \frac{271 \cdot 0,6}{1,357} = 119,8 \text{ N/m}$$

- Por fuerza vertical:

$$f_s = \frac{F}{A} = \frac{5100}{3,77} = 1352 \text{ N/m}$$

Ahora se puede calcular la fuerza resultante:

$$f_r = \sqrt{f_t^2 + f_b^2 + f_s^2} = 9800 \text{ N/m}$$

Si usamos un electrodo E60 con una resistencia de 1680 N por milímetro de soldadura [15].

$$w = \frac{f_r}{\sigma_{mm}} = \frac{9800}{1680} = 6 \text{ mm}$$

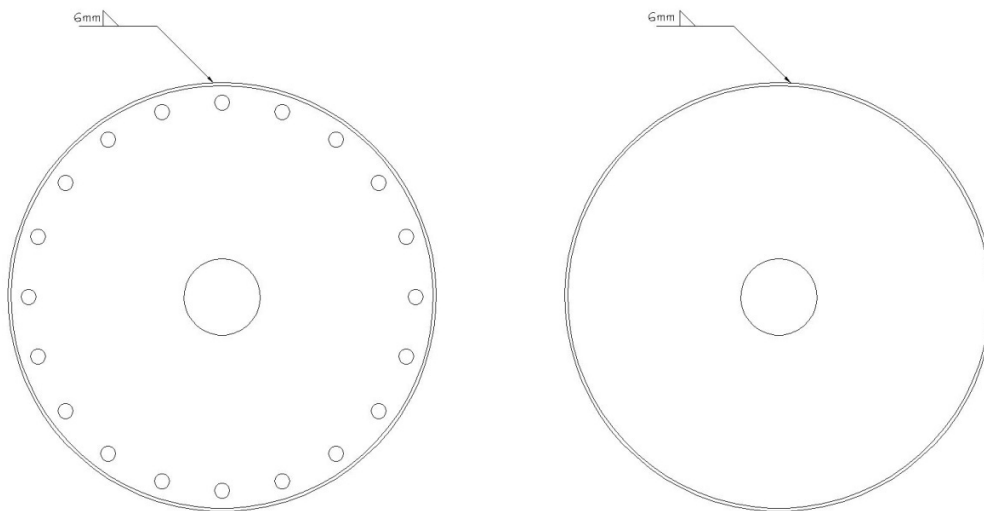


Figura 3.14: Detalle de soldadura para tapas del cilindro.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Aun siendo las tapas soldadas se decide colocar 4 rigidizadores en cada tapa para darle más resistencia a la estructura del cilindro. Ver figura 3.15.

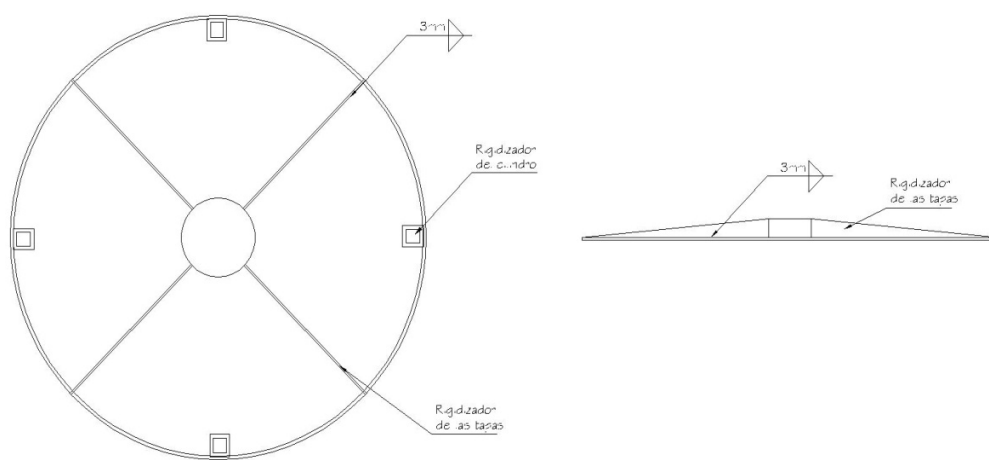


Figura 3.15: Detalle 2 de soldadura para tapas del cilindro.

En vista de que no conocemos como se distribuye la fuerza en el interior del cilindro vamos a suponer para el cálculo del cordón que une los dos extremos de una misma lámina que toda la carga se distribuye en el cilindro y actúa sobre este cordón como 2 fuerzas $f = 4900 \text{ Newton}$ cada una.

Para un electrodo E60 y con una altura de cateto de 3 milímetros la fuerza permisible es de 1600 N/mm de soldadura

$$fa = 1600 \cdot l = 1600 \cdot 1220\text{mm} = 1,95 \text{ MN}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Como $f_a \gg 9800$, la resistencia del material de aporte es satisfactoria.

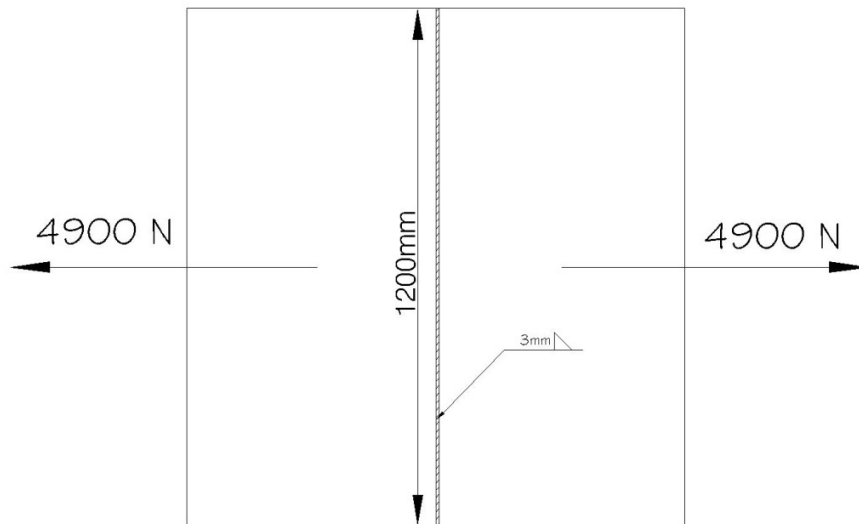


Figura 3.16: Detalle 3 de soldadura para tapas del cilindro

3.10 Diseño del eje de conexión entre el motor reductor y el cilindro

El eje encargado de transmitir la potencia del motor reductor al cilindro giratorio se encuentra sometido a flexión y a un momento torsor de 6550 N·m. Además se encuentra simplemente apoyado sobre 2 rodamientos y soporta 2 fuerzas concentradas. Su diagrama de fuerza cortante y momento flector se muestran a continuación.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”



Figura 3.17: Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro.

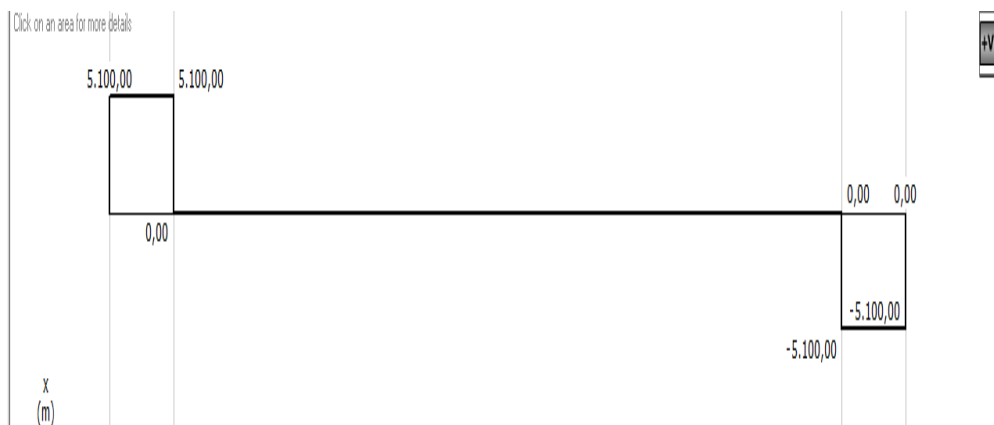
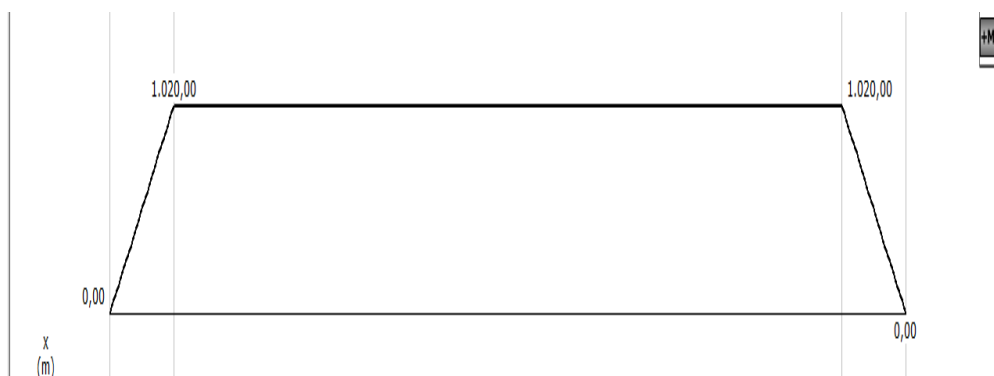


Figura 3.18: Diagrama de fuerza cortante en el eje del cilindro.



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Figura 3.19: Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro.

Se propone el uso de acero AISI 1040 tratado y revenido. Usando un factor de seguridad $N = 2$ se puede determinar su diámetro como se indica:

$$D = \left[\frac{32 \cdot N}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{Kt \cdot M}{Sn'}\right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [15]$$

$$Sn' = Sn \cdot Cs \cdot Cr$$

$$Sn' = 2000 \cdot 10^6 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 1350 \text{ MPa}$$

El diseño comprende dos ejes diferentes, el primero que va desde el apoyo izquierdo hasta el punto de aplicación de la fuerza P1, este eje va acoplado al motor reductor y es macizo, el segundo eje va desde el punto de aplicación de la fuerza P1 hasta el apoyo derecho y es un eje hueco por donde fluye el aire.

$$D1 = \left[\frac{32 \cdot 3}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,6 \cdot 1020}{1350 \cdot 10^6}\right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{271}{600 \cdot 10^6}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Para el segundo eje vamos a usar una tubería 5” de diámetro AISI 304 Schedule 40 con una longitud de 2,8 metros para la cual se tiene:

$$\tau_1 = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{1020 \cdot 0,0706}{6,3 \cdot 10^{-6}} = 13,45 \text{ MPa}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Aplicando la teoría de energía de distorsión tenemos:

$$N = \frac{0,577 \cdot S_y}{\tau_{max}} = \frac{0,577 \cdot 241 \cdot 10^6}{13,45 \cdot 10^6} = 10,34$$

3.11 Cálculo de los rodamientos

Del diagrama de fuerza la máxima fuerza es de 5100 N, usando la duración de diseño $L_{10} = 6000$ horas, podemos obtener la capacidad de carga dinámica básica como:

$$Ld = horas \cdot rpm = 6000h \cdot 10rpm \cdot 60 \frac{min}{h} = 3,6 \cdot 10^6 rev$$

$$C_o = P \cdot \left(\frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k} = 5100 \cdot (3,6)^{1/3} = 7816 N$$

3.12 Diseño de los pernos

El eje macizo en uno de sus extremos va unido al cilindro, su unión es a través de pernos. Estos pernos se calculan sometidos a esfuerzo cortante, se ha decidido colocarlos a 15 cm del eje del cilindro.

$$F1 = \frac{T}{c} = \frac{271}{0,15} = 1,08 kN$$

$$F2 = 4,9 kN$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Sabiendo que el vector F_1 es siempre tangente al radio y el vector F_2 es siempre vertical descendiente, la suma vectorial de ambos será máxima cuando estos sean paralelos.

$$F_t = 6 \text{ kN}$$

Esta carga debe ser dividida entre la cantidad de pernos para obtener la carga unitaria.

$$F_u = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ kN}$$

Los pernos deben ser de un material dúctil y debido a eso usaremos la teoría de energía de distorsión ya que esta es la que mejor predice el comportamiento de los materiales sometidos a esfuerzo cortante constante. Esta teoría establece:

$$\tau_{max} = 0,577 \cdot \frac{S_y}{N}$$

Usando esta ecuación para un perno ASTM 325 del tipo 1 y un factor de seguridad de seguridad $N=4$ se tiene:

$$\tau_{max} = 0,577 \cdot \frac{635 \cdot 10^6}{4} = 91,6 \text{ MPa}$$

El esfuerzo sobre los pernos se puede expresar en función de la fuerza de corte total y el área de los pernos:

$$\tau = \frac{F_u}{A}$$
$$\tau \leq \tau_{max}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Resolviendo la ecuación anterior para encontrar el diámetro de los pernos tenemos:

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{12,14 \cdot 10^3}{183 \cdot 10^6} = 6,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 0,66 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,46 \text{ cm} = 4,6 \text{ mm}$$

$$d = 2 \cdot r = 9,2 \cong 10 \text{ mm}$$

3.13 Cálculo de la rata de flujo de calor

De la primera ley de la termodinámica para una rata de flujo tenemos:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \dot{\rho}_{aire} = 1,12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Asumiendo que es un proceso adiabático y no hay interacciones de trabajos tenemos:

$$\dot{Q} = 1,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,035 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 40\text{K} = 56304 \text{ Watts} = 0,192 \text{ MBTU/h}$$

Este valor representa la cantidad de calor necesaria para calentar el aire de 15 °C hasta 55 °C. Esta condición se puede considerar como crítica para una baja temperatura del ambiente, ahora evaluemos el quemador a una temperatura crítica de 35 °C, máxima temperatura de operación.

$$\dot{Q} = 1,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,035 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 20\text{K} = 28152 \text{ Watts} = 0,096 \text{ MBTU/h}$$

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO IV ANALISIS Y RESULTADOS

Para el desarrollo de esta sección se ha decidido exponer las ideas de acuerdo a 6 grupos: el cilindro rotatorio, estructura, dinámica de la maquina, el quemador, manual de operación y mantenimiento y planimetría.

4.1 El cilindro rotatorio.

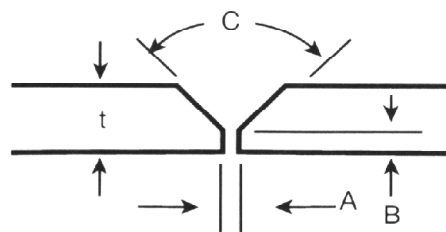
El cilindro rotatorio fue diseñado en acero inoxidable AISI 304, por este material costoso se decide optimizar su uso. El desarrollo de los cálculos indica que debemos usar 4 láminas de 1,22 metros de ancho y 2,44 metros de largo. En cuanto a los esfuerzos debidos a la flexión los valores obtenidos estuvieron por debajo a los admitidos por el acero seleccionado.

En el diseño no solo se busca que los elementos no fallen debido a la flexión sino que incluso se introduce un parámetro de diseño estético, en este caso la deflexión no puede exceder la milésima parte de la longitud del elemento estudiado. Para un cilindro hueco de 2,14 metros de longitud y 0,6 metros de radio conformado por láminas de acero inoxidable AISI 304 de 1,27 milímetros (Calibre 18) de espesor los resultados obtenidos para la deflexión se mantuvieron por debajo del valor limite de diseño por lo cual se considera que no fallará.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Para la unión de las láminas se establece un proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodos que contengan cromo y níquel. El cordón de soldadura es del tipo filete de 3 mm de cateto.

La lamina de acero que sirve como tapa del cilindro y que está ubicada del lado motor reductor cuenta con veinte perforaciones de 5 mm de diámetro que permiten la circulación del aire húmedo desde el interior de la secadora hacia el exterior.



$$A = 0,8 - 2,4 \text{ mm}$$

$$B = 1,6 - 2,4 \text{ mm}$$

$$C = 60 - 80^\circ$$

Figura 4.1: Detalle de soldadura.

4.2 Estructura

La estructura de la maquina está conformada por perfiles UPN de fabricación nacional, para su dimensionamiento se considero el tipo de deformación que estos pueden presentar al momento de someterlos a la carga de diseño.

Para los perfiles sometidos a compresión pura se uso el pandeo como criterio de diseño. Se hizo el cálculo de la constante de columna (C_c) y la relación de esbeltez (Re), estos valores se compararon para determinar la teoría de pandeo a usar. Como el valor de la Constante de Columna (C_c) es menor que la relación

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

de esbeltez, la columna es larga y se debe emplear la fórmula de Euler. Seguidamente se calcula la carga crítica y se compara con la carga real aplicada derivada del diagrama de cuerpo libre de la columna, como este último resultado ser menor que la carga crítica su comportamiento sus dimensiones y propiedades son aptas para soportar la carga aplicada.

Los perfiles que sirven de apoyo al eje del cilindro son del tipo UPN 80 y están soldadas de lado y lado a las columnas por lo cual se consideran doblemente empotradas, además soportan en el centro una carga concentrada por lo cual se estudió la flexión y la deflexión de las mismas. Se obtuvieron los gráficos de fuerza cortante y momento flector, el máximo momento flector se presentó en la mitad de la viga como era de esperarse. El esfuerzo debido a la flexión en la mitad de la viga se comparó con el esfuerzo permisible de la teoría de máxima energía de distorsión. Estos valores satisfacen la teoría de energía de distorsión máxima por lo cual se considera que no fallarán.

Estos perfiles deberán ir pintados con pintura de esmalte por lo cual primeramente deben ser limpiados con un solvente (Tiner, Vensol u otro) a fin de remover polvo o cualquier rastro de aceite, seguidamente se deben aplicar dos capas de fondo anticorrosivo para luego aplicar dos capas de pintura de esmalte.

4.3 Dinámica de la máquina

El elemento principal generador del movimiento es un motor eléctrico de 0,5 HP de potencia, en vista de que la velocidad de salida del motor es de 1800 rpm

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

se decide usar un reductor de velocidad que permita al cilindro rotatorio girar con una velocidad de 10 rpm, velocidad que se considera adecuada para el proceso de secado. La relación de velocidades con la que debe cumplir el reductor es de 0,005 por lo cual se selecciona un motor reductor helicoidal del apéndice A-IX, modelo D48-M71M4 FLENDER. La unión de estos dos elementos se logra gracias a una chaveta o cuña suministrada junto con el reductor.

La potencia mecánica a la salida del reductor es conducida al cilindro a través de un árbol macizo. El árbol fue diseñado en acero AISI 4140 tratado y revenido y el criterio de falla usado para su dimensionamiento fue el modelo de energía de distorsión. Este árbol además fue diseñado considerando los efectos simultáneos de torsión y flexión. Finalmente usando un factor de seguridad de 3 se obtiene un eje macizo de 10 mm de diámetro.

Con el fin de reducir los efectos de la vibración y alguna desalineación se decide colocar un acople flexible SKF HCCE015R como el que se muestra en la figura 4.2.

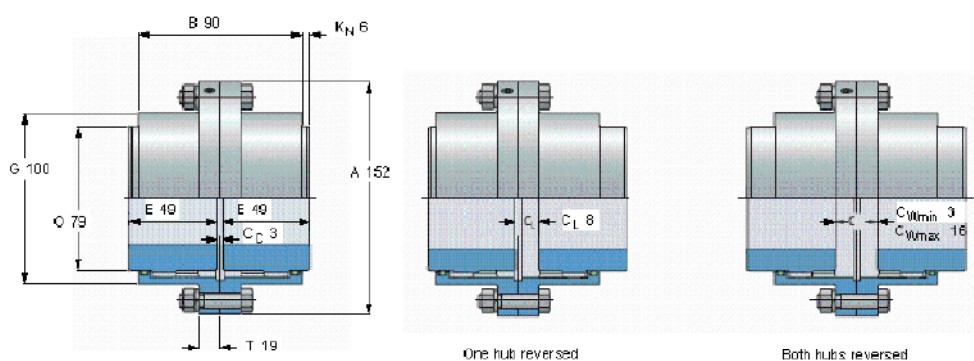


Figura 4.2: Acople flexible.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

El segundo eje es hueco y se evaluaron los esfuerzos de flexión sobre una tubería de 5 pulgadas de diámetro Schedule 40 de acero inoxidable AISI 304. El máximo momento flector se presentó a 2,4 metros del apoyo izquierdo y fue de 1020 N m. Este eje servirá también como tubería por donde fluirá el aire hacia el interior del cilindro, es por eso que se ha decidido colocar 20 agujeros de 10 mm de diámetro distribuidos a lo largo de la tubería de manera uniforme y con un ángulo entre ellos de 90° y en dirección vertical descendiente, esto permitirá una buena distribución del aire caliente sobre los granos de café.

Seguidamente el eje debe ir soportado por unos rodamientos para su selección es necesario considerar la aplicación, la velocidad de giro, la magnitud de la fuerza y su dirección.

Para soportar el eje se han escogido rodamientos de bola debido a que la fuerza es en dirección radial y la velocidad de 10 rpm es relativamente baja. Al observar el diagrama de fuerza cortante en la imagen notamos que la máxima fuerza es de 5100 N. De acuerdo a la aplicación agrícola la duración de diseño L_{10} es 6000 horas, de esta manera se obtuvo la capacidad de carga dinámica básica de 7816 N. Con este valor de capacidad de carga dinámica podemos seleccionar en el catalogo los rodamientos, siempre recordando el tamaño de los ejes que estos soportan.

Del catalogo de SKF podemos seleccionar los siguientes rodamientos:

- Rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad Serie 6100, numero 61807, con chumacera.
- Rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad Serie 6100, numero 61824, con chumacera ciega.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

En la figura 4.3 se pueden observar las dimensiones de los rodamientos.

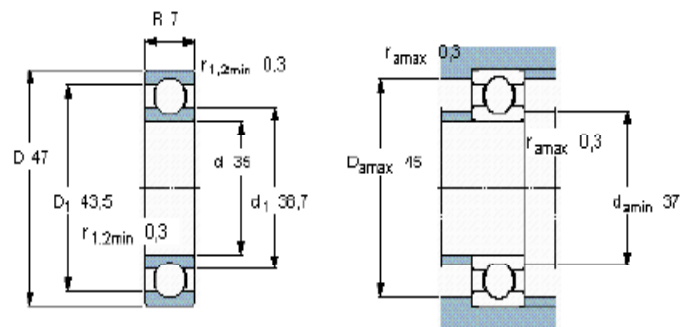


Figura 4.3 a: Rodamiento N° 61807.

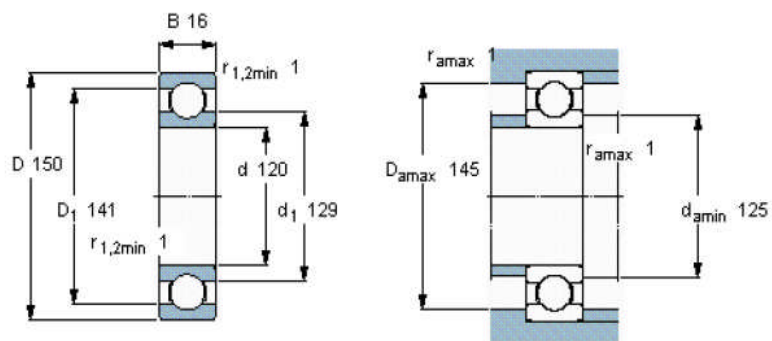


Figura 4.3 b: Rodamiento N° 61824.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

4.4 El quemador

El uso de un quemador a gas fue una de las ideas que generó mayor interés en el grupo de diseño debido al bajo costo del combustible, poco contaminante y por ser nuestro país ricos en yacimientos gasíferos.

Los cálculos fueron realizados usando una temperatura ambiente de 15 °C y 35 °C, con una temperatura final deseada de 55 °C. El flujo volumétrico usado en el cálculo del flujo másico es de 1,12 m³/s y es suministrado por el ventilador del quemador. La rata de flujo de calor que se obtuvo es de 56304 Watts para la temperatura más baja y 28152 Watts para la más alta. El quemador MAXON M-PAKT 0.4 M (Apéndice VIII) está en la capacidad de suministra esta rata de flujo de calor por lo que se le considera adecuado para este proceso.

Asumiendo que el proceso de secado dentro de la secadora es llevado a cabo solo por una cantidad de aire caliente podemos identificar los siguientes puntos:

- Estado 1: condición inicial del aire que a su vez son las condiciones ambientales que se han supuesto para al principio.
- Estado 2: condición del aire antes de entrar al cilindro rotatorio.
- Estado 3: condición del aire al abandonar el cilindro rotatorio.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

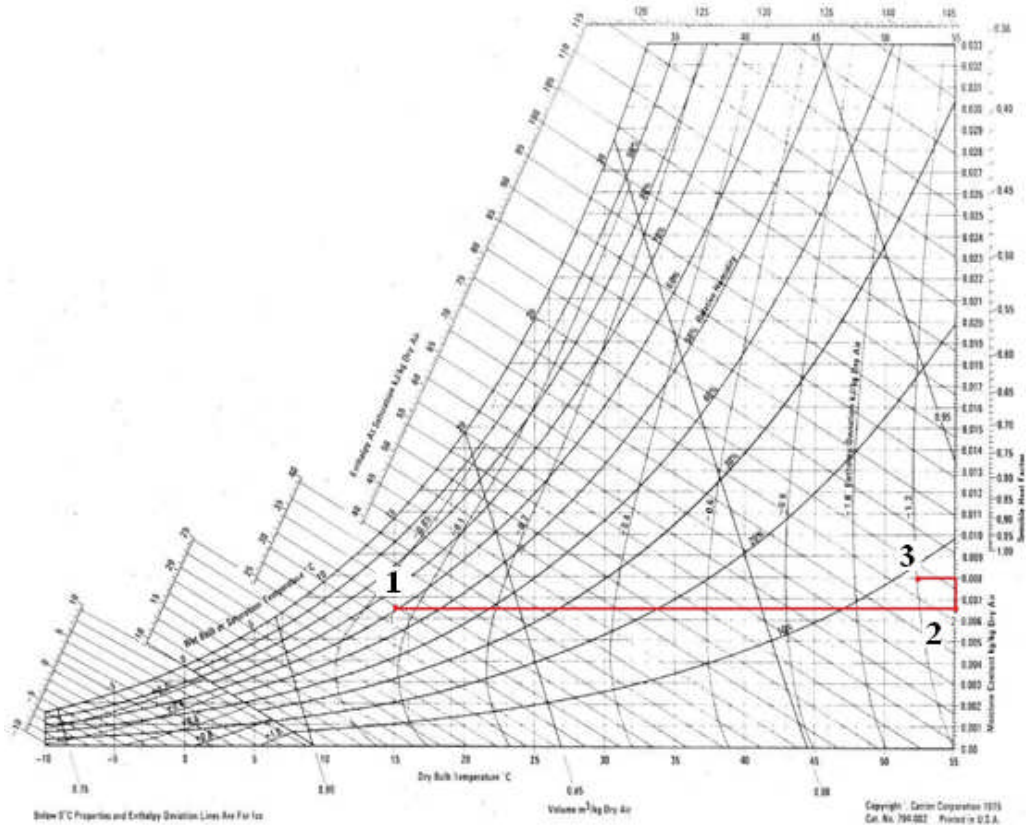


Figura 4.2: Carta psicométrica.

Como se puede observar hay un cambio de humedad absoluta entre el estado 2 y el estado 3, esta humedad ha sido absorbida por el aire desde el grano de café, este proceso se repite constantemente en el funcionamiento del equipo y finalmente se obtiene una disminución de la humedad en el grano de café.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

4.5 Manual de operación y mantenimiento

La secadora está equipada con 2 puertas de acceso ubicada en la parte central del cilindro, la finalidad de esta puerta es permitir el acceso de los productos al interior de la secadora, además estas puertas servirán para lavar el interior del cilindro con agua y productos químicos necesarios para mantener la asepsia en el equipo.

Gracias a la pendiente de las paredes del cilindro es posible que el agua que se deposite se escurra rápidamente, inclusive, es posible arrancar el quemador con la finalidad de acelerar el proceso de secado interior del cilindro.

Dependiendo de las condiciones del medio ambiente en donde opera la secadora será necesario engrasar los rodamientos con más o menos frecuencia. Por ejemplo en lugares donde exista mucho polvo o lugares con altos niveles de salitre será necesario inspeccionar los rodamientos cada 2500 horas (de operación 100 ciclos de secado), esto para verificar el estado de los elementos rodantes. Por tratarse de un equipo para el procesamiento de alimentos es indispensable mantener la asepsia.

El quemador MAXON M-PAKT está diseñado para operar a gas debido a esto, es probable que los dispositivos de conexión de gas de $\frac{1}{2}$ pulgada y $\frac{1}{4}$ de pulgada deban ser examinados con el fin de retirar cualquier partícula sólida proveniente de la tubería principal de combustible. Estas partículas pueden ocasionar la pérdida de presión en el quemador y por ende su mal funcionamiento.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Con el fin de preservar la asepsia en el proceso de secado se hace necesario limpiar con frecuencia toda la estructura de la secadora, esta limpieza puede ser con una sección de tela humedecida con agua a fin de retirar todas las partículas de polvo que se acumulan sobre el cuerpo de la secadora. Es importante tener especial cuidado a la hora de limpiar el motor eléctrico y el quemador, ya que al ser estos eléctricos la humedad puede deteriorar los circuitos con los cuales funcionan. Se debe tener la seguridad de tener la fuente de tensión desconectada a fin de evitar que un contacto errado con los equipos eléctricos pueda ocasionar daños físicos al personal a cargo del mantenimiento.

El motor reductor viene equipado con aceite y está listo para funcionar, sin embargo, en caso de que sea necesario abrir la cámara de engranajes se recomienda usar la siguiente tabla para seleccionar el aceite de sustitución. No se recomienda por ningún motivo usar mezclas de aceites.


Ambient temperature °C	Marking according to DIN 51502										
		ADDINOL	ARAL	bp	Castrol	DEA	ESSO	FUCHS	KLOBER	Mobil	Shell
-10 ... + 40	CLP ISO VG 220	CLP 220S	Degol BG 220	Energol GR-XP 220	Alpha SP 220 Optigear BM220 Tribol 1100/220	Falcon CLP220	Spartan EP220	Renolin CLP 220	Kilüberoil GEM 1-220	Mobilgear XMP 220	Omala 220
-20* ... + 50	CLP PG ISO VG 220	-	Degol GS 220	Enersyn SG-XP 220	Optiflex A220 Tribol 800/220	Polydea PGLP 220	Glycolube 220	Renolin PG 220	Syntheso D 220 EP	-	Tivela S 220
0* ... + 60*	CLP PG ISO VG 460	-	Degol GS 450	Enersyn SG-XP 460	Optiflex A460 Tribol 800/460	Polydea PGLP 460	Glycolube 460	Renolin PG 460	Syntheso D 460 EP	-	Tivela S 460

Figura 4.3: Aceites recomendados para reductor de velocidad.

Los motores eléctricos deben ser también engrasados, el tiempo de vida estimado de la grasa es de 33000 horas a una temperatura máxima de 40 °C aunque a una temperatura de 25 °C este tiempo puede duplicarse [17]. En caso

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

de que sea necesario reemplazar la grasa del eje del motor se recomienda usar la siguiente tabla.

At ambient temperature* °F (°C)	Name of the lubricant									
										
-22 ... +140 (-30 ... +60)	Aralub HL3, HL2	Energrease LS3, LS2	Longtime PD2 TRIBOL 4020/220-2	Glissando 30, 20	Beacon 3	Renolit FWA160, FWA220	Centroplex GLP402	Mobilux 3, 2	Alvania R3, R2	Wilub LFK2
-22 ... +212 (-30 ... +100)		Energrease HTB2	TRIBOL 4747			Unitemp 2	COSTRAC AK 302	Mobiltemp SHC 100		

Figura 4.4: Aceites recomendados para motor eléctrico.

Para el arranque de la secadora se han instalado al sistema 2 pulsadores, estos pulsadores traen 2 botones, uno de color rojo y otro de color verde. El botón color verde servirá para accionar el sistema y el rojo para detenerlo. Uno de los pulsadores está conectado al motor que da movimiento al cilindro el otro pulsador servirá para accionar el ventilador del quemador.



Figura 4.5: Pulsador.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo a las investigaciones realizadas en el desarrollo del presente trabajo, a continuación se presentan las siguientes conclusiones con la finalidad de dar cumplimiento al logro de todos los objetivos propuestos.

Las secadoras existentes en el mercado son muy variadas, y cada una se adapta a los diferentes tipos de necesidad. Sin embargo, los secadores mecánicos rotativos comerciales han sido diseñados para operar con grandes volúmenes de producto, dejando vacío el sector de usuarios que no manejan grandes volúmenes. Otros modelos más rudimentarios incrementan los costos de producción en algunos casos o en otros disminuyen la calidad del producto.

El calor necesario para el proceso de secado varía de acuerdo a las diferentes condiciones ambientales como la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo los cálculos realizados fueron hechos considerando condiciones críticas de temperatura, con lo que se obtiene un cierto margen de seguridad.

Los factores de seguridad que se obtuvieron en el diseño de la estructura, permiten soportar las cargas de operación de manera muy holgada.

La operación y mantenimiento de este equipo resulta sencilla y económica, con lapsos de parada cortos y largos plazos de operación. Además, cuenta con solo dos pares botones para arranque y parada de los motores.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Los planos de conjunto y detalles describen en forma clara la ubicación de cada una de los elementos que constituyen esta máquina.

Por todo lo anterior se infiere que se ha cumplido el objetivo general que nos hemos planteado en esta investigación, el cual planteaba el diseño de un sistema que permitiese reducir la humedad del grano de café.

Este diseño además, permite realzar ventajas competitivas importantes para el sector al cual está dirigido, ya que tiene mediana capacidad que se ajusta a las necesidades de los pequeños productores.

El aporte más significativo que tiene el diseño de esta máquina, es que contribuye con el desarrollo agrícola del país. Si bien es cierto que Venezuela es un país dedicado con mayor vehemencia a la producción petrolera, es de vital importancia invertir mucho más esfuerzo y tecnología en la producción y procesamiento de alimentos.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

CAPITULO VI RECOMENDACIONES

- Construcción de la secadora de café.
- Ensayar el equipo para obtener las curvas de calibración del equipo para cargas entre 1000 kg y 500 kg de producto.
- Ensayar el equipo para obtener las curvas de calibración del equipo para diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.
- Ensayar el equipo para diferentes tipos de producto, como por ejemplo maíz y sorgo.
- Diseñar el resto de los equipos que cierren la cadena en cuanto el beneficio del grano de café.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Alvarado, M., (1994). *Cultivo y beneficiado del café..* San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- [2]. Arias, F. (2004). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica* (4^{ta} Edición). Caracas: Editorial Episteme.
- [3]. Ballester, M. (2007). *Normas APA-UPEL*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas.
- [4]. Ballinas, M. (1990) *Estudio Experimental de un Secador Solar Semicilíndrico para Granos*, Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [5]. Bermúdez, J. (2004). *Diseño y construcción de un secador de alimentos de origen vegetal en el Estado Amazonas*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [6]. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Consejo de la escuela de ingeniería mecánica (2008). *Instructivo para elaborar el anteproyecto de trabajo especial de grado*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería Caracas.
- [7]. Gere, J., (2006). *Mecánica de materiales* (4^{ta} Edición). México, D.F., México: Thomson.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- [8]. Gonzales, E., (1969). *Deshidratación de los granos agrícolas en suspensión. Trabajo Especial de Grado*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [9]. Henao, J. (1982). *El Café en Venezuela*, Universidad Central de Venezuela, Maracay.
- [10]. Henao, J. (1991). *Curso sobre maquinaria y procesos para el beneficio húmedo del fruto del cafeto*. Universidad Central de Venezuela, Maracay.
- [11]. Maupoey, P., *Introducción al secado de alimentos con aire caliente*. Universidad Politécnica de Valencia. [On-line]. Disponible en <http://books.google.co.ve>
- [12]. Lindbland, C., (1979). *Almacenamiento de granos, manejo, secado, silos. Control de insectos y roedores*. México, D.F., México: Editorial Concepto.
- [13]. Malave, M., (1990). *Diseño y construcción de un secador solar*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [14]. Milani, R. (1997). *Diseño para nuestra realidad*. Caracas, Venezuela. Universidad Simón Bolívar: Equinoccio.
- [15]. Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. (4ta. Ed.). México, D.F., México: Pearson Educación.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

- [16]. Ravenenet, J. (1977). *Silos*. Barcelona, España., Barcelona: Editores Técnicos Asociadas.
- [17]. Siemens. (1989). *Selección y aplicación de motores eléctricos*. Barcelona, España. Barcelona: Marcombo S.A.
- [18]. Shigley, J. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica*. (6ta. Ed.). México, D.F., México: McGraw-Hill.
- [19]. Texeira, J. (2004). *Diseño y construcción de un deshidratador indirecto de cacao mediante el uso de aire calentado por energía solar*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- [20]. VanWylen, G. (2007). *Fundamentos de termodinámica*. (2da. Ed.). México, D.F., México: Limusa Wiley.

ANEXOS I

APÉNDICES Y TABLAS

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice I: Tuberías de acero soldadas y forjadas sin costura.

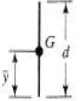
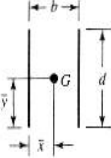
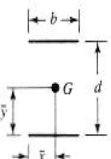
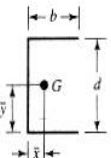
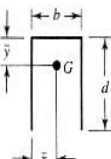
Welded and Seamless Wrought Steel Pipe

Size	Schedule no	Diameter		Thick-ness	Circumference		Transverse area		Length of pipe per sq ft of surface area		Weight per ft of length	Allowable working pressure at 100 F'	Water hammer factor		
		External	Internal		External	Internal	External	Internal	External surface	Internal surface					
		inches	inches		inches	inches	sq in	sq in	feet	feet					
3	40 -S	3 500	3 068	0 216	10 996	9 638	9 621	7 393	1 091	1 245	7 58	1600	2 60		
	80 -X		2 900		10 996	9 111	9 621	6 605	1 091	1 32		2600		2 92	
	160		2 624		10 996	8 244	9 621	5 408	1 091	1 46		4100		3 56	
	XX		2 300		10 996	7 226	9 621	4 155	1 091	1 66		6100		4 64	
3½	40 -S	4 000	3 548	0 226	12 566	11 146	12 566	9 886	0 954	1 076	9 11	1500	1 94		
	80 -X		3 364		12 566	10 57	12 566	8 888	0 954	1 14		2400		2 17	
	160		2 728		12 566	8 57	12 566	5 845	0 954	1 40		5600		3 29	
	XX														
4	40 -S	4 500	4 026	0 237	14 137	12 648	15 904	12 703	0 848	0 948	10 79	1400	1 51		
	80 -X		3 826		14 137	12 020	15 904	11 497	0 848	0 998		14 98		2300	1 67
	120		3 624		14 137	11 39	15 904	10 315	0 848	1 05		19 00		3350	1 87
	160		3 438		14 137	10 80	15 904	9 282	0 848	1 11		22 51		4000	2 08
	XX		3 152		14 137	9 90	15 904	7 803	0 848	1 21		27 54		5300	2 47
5	40 -S	5 563	5 047	0 258	17 477	15 856	24 306	20 006	0 686	0 756	14 62	1300	0 960		
	80 X		4 813		17 477	15 120	24 306	18 19	0 686	0 793		20 78		2090	1 06
	120		4 563		17 477	14 34	24 306	16 35	0 686	0 837		27 04		2950	1 18
	160		4 313		17 477	13 55	24 306	14 61	0 686	0 897		32 96		3850	1 32
	XX		4 063		17 477	12 76	24 306	12 97	0 686	0 940		38 55		4780	1 49
6	40 -S	6 625	6 065	0 280	20 813	19 054	34 472	28 891	0 756	0 629	18 97	1210	0 666		
	80 -X		5 761		20 813	18 099	34 472	26 07	0 756	0 663		26 57		2070	0 738
	120		5 501		20 813	17 29	34 472	23 77	0 756	0 695		36 39		2850	0 810
	160		5 187		20 813	16 30	34 472	21 13	0 756	0 736		45 35		3760	0 912
	XX		4 897		20 813	15 38	34 472	18 83	0 756	0 780		53 16		4660	1 02
8	20	8 625	8 125	0 250	27 096	25 53	58 43	51 87	0 443	0 470	22 36	795	0 371		
	30		8 071		27 096	25 39	58 43	51 30	0 443	0 473		24 70		910	0 375
	40 S		7 981		27 096	25 07	58 43	50 03	0 443	0 478		28 55		1100	0 385
	60		7 813		27 096	24 54	58 43	47 94	0 443	0 489		35 64		1460	0 402
	80 X		7 625		27 096	23 955	58 43	45 66	0 443	0 500		43 39		1870	0 422
	100		7 437		27 096	23 36	58 43	43 44	0 443	0 514		50 95		2280	0 443
	120		7 187		27 096	22 58	58 43	40 56	0 443	0 532		60 71		2840	0 475
	140		7 001		27 096	21 99	58 43	38 50	0 443	0 546		67 76		3260	0 500
	XX		6 875		27 096	21 60	58 43	37 12	0 443	0 556		72 42		3560	0 519
	160		6 813		27 096	21 40	58 43	36 44	0 443	0 561		74 69		3700	0 529

~3 Selected from ANSI B 36 10—1975 See notes page 7-19

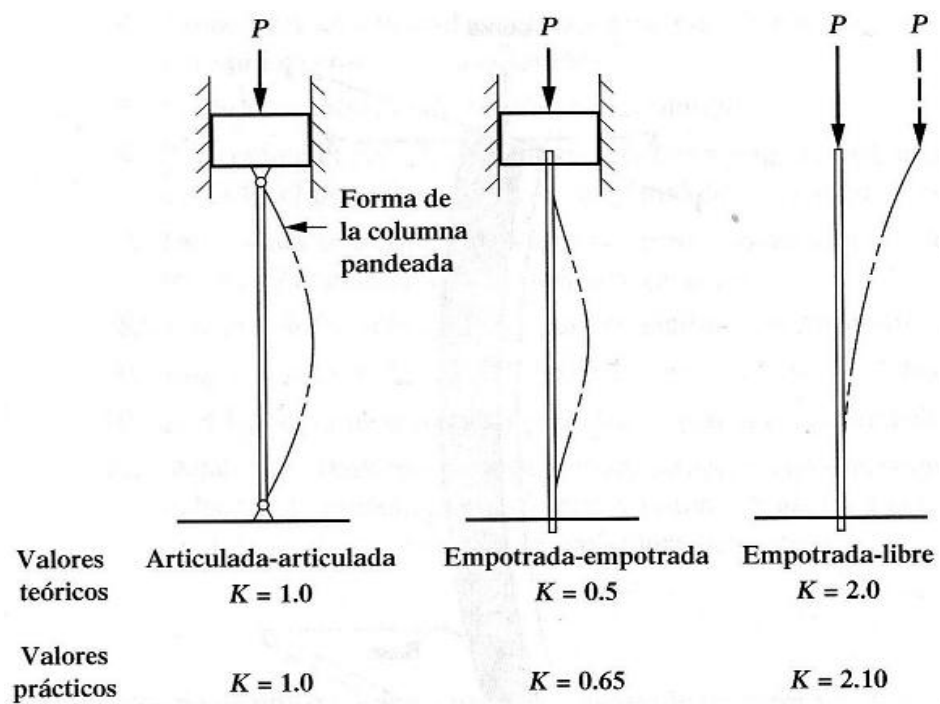
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice II: Propiedades a la flexión de soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento del área unitaria
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

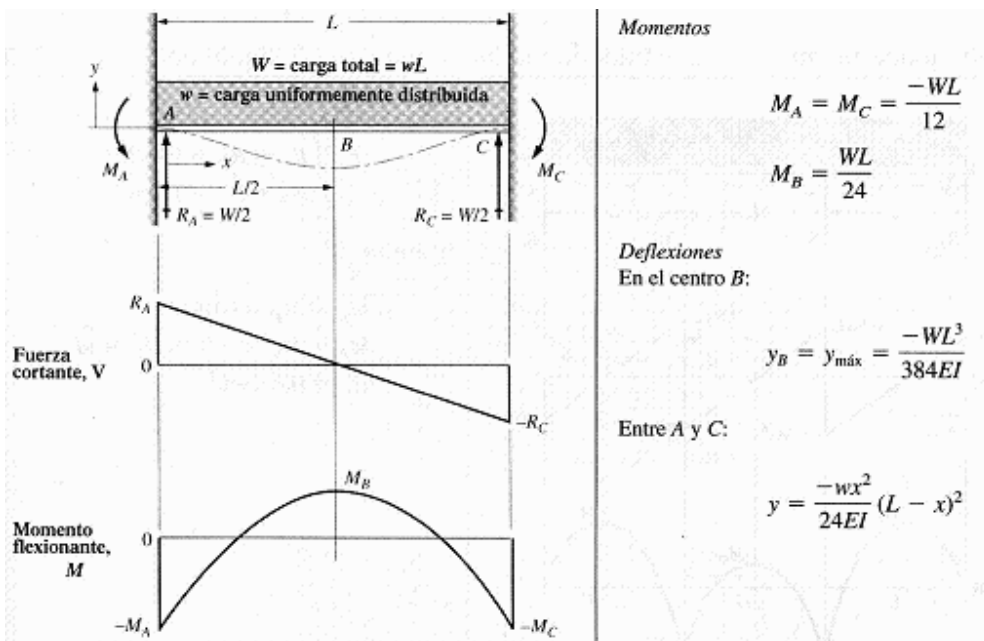
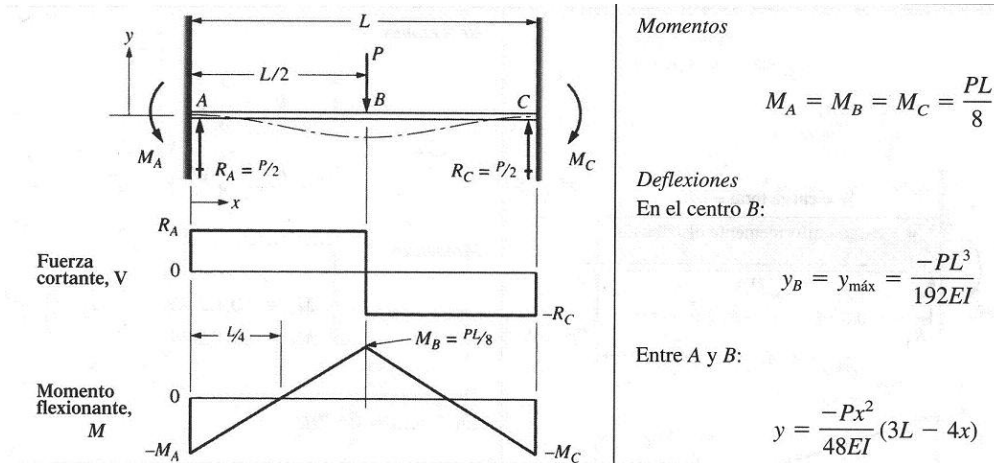
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice III: Valores de K para obtener longitud efectiva.



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice IV: Diagramas de momento flector y deflexión para vigas estáticamente indeterminadas.



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice V: Propiedades de los electrodos según AWS.

Número de electrodo AWS*	Resistencia de tensión (MPa)	Límite elástico kpsi (MPa)	Elongación (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

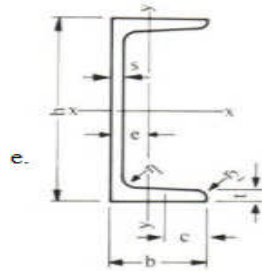
* Sistema de numeración del código de especificaciones de la *American Welding Society (AWS)* para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia mínima a la tensión. El último incluye variables en la técnica de soldado, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de soldado, como por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice VI: Duración recomendada para rodamientos.

Aplicación	Duración de diseño L10, h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipos agrícolas	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20000-30000
Bombas y compresores	40000-60000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100000-200000

Apéndice VII: Dimensiones perfil UPN



UPN	Dimensiones (mm)						Área cm ²	Peso Kg/m	Momento respecto a los ejes					
	h	b	s	t	r1	r2			EJE-X-X			EJE-Y-Y		
									Ix cm ⁴	Sx cm ³	Rx cm	Iy cm ⁴	Sy cm ³	Ry cm
80	80	45	6.0	8.0	8.0	4.0	11.0	8.65	106	26.5	3.10	19.4	6.35	1.33
100	100	50	6.0	8.5	8.5	4.5	13.5	10.6	205	41.1	3.91	29.1	8.45	1.47
120	120	55	7.0	9.0	9.0	4.5	17.0	13.3	364	60.7	4.63	43.1	11.10	1.59
140	140	60	7.0	10.0	10.0	5.0	20.4	16.0	605	86.4	5.45	62.5	14.70	1.75
160	160	65	7.5	10.5	10.5	5.5	24.0	18.9	925	116.0	6.21	85.0	18.20	1.89
180	180	70	8.0	11.0	11.0	5.5	28.0	22.0	1350	150.0	6.96	113.0	22.40	2.02
200	200	75	8.5	11.5	11.5	6.0	32.2	25.3	1910	191.0	7.71	148.0	26.90	2.14
220	220	80	9.0	12.5	12.5	6.5	37.4	29.4	2690	245.0	8.48	196.0	33.50	2.30
240	240	85	9.5	13.0	13.0	6.5	42.3	33.2	3600	300.0	9.22	247.0	39.50	2.42
260	260	90	10.0	14.0	14.0	7.0	48.3	37.9	4820	371.0	10.0	317.0	47.80	2.56
280	280	95	10.0	15.0	15.0	7.5	53.4	41.9	6280	448.0	10.80	398.0	57.10	2.74
300	300	100	10.0	16.0	16.0	8.0	58.8	46.1	8030	535.0	11.70	493.0	67.60	2.90
320	320	100	14.0	17.5	17.5	8.5	75.8	59.5	10870	679.0	12.10	597.0	80.60	2.81
350	350	100	14.0	16.0	16.0	8.0	77.3	60.6	12840	734.0	12.90	570.0	75.00	2.72
380	380	102	13.5	16.0	16.0	8.0	80.4	63.1	15760	829.0	14.00	615.0	78.70	2.77
400	400	110	14.0	18.0	18.0	9.0	91.5	71.8	20350	1020.0	14.90	846.0	102.00	3.04

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice VIII: Catalogo del quemador a gas M-PAKT.

		Packaged Burners				
Size		0.4M	0.9M	1.5M	2.5M	3.5M
Maximum Capacity HHV (4)	MBtu/h	0.41	0.9	1.6	2.5	3.5
Minimum Capacity HHV		0.07	0.128	0.2	0.37	0.5
Tumdown	N/A	5.9:1	7:1	8.5:1	7:1	7.4:1
Pilot Capacity	scfh	20-80	20-80	20-80	20-80	20-80
Natural Gas Pressure (3) (7)	" wc	4.1	10.4	8.6	10.3	14.4
Inlet Gas Pressure (5)	" wc	22.5	26.9	23.9	39.6	37
Inlet Gas Pressure (6)	"wc	8	25.5	19	37	33
Combustion Air Pressure at Test Port	" wc	8.8	8.8	9.3	10.4	10.3
Combustion Air Flow	scfm	116	225	453	708	992
Fan Horsepower	hp	1.5	2	2	3	3
Burner Sound Levels (2)	dB(A)	86.1	86.3	87.2	89.3	89.5
With Silencer		82.0	82.2	84.0	82.0	82.0

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Apéndice IX: Catalogo reductor helicoidal.

FLENDER
DRIVES & AUTOMATION

MOTOX®-N

Legend / explanations see page 3 - 11

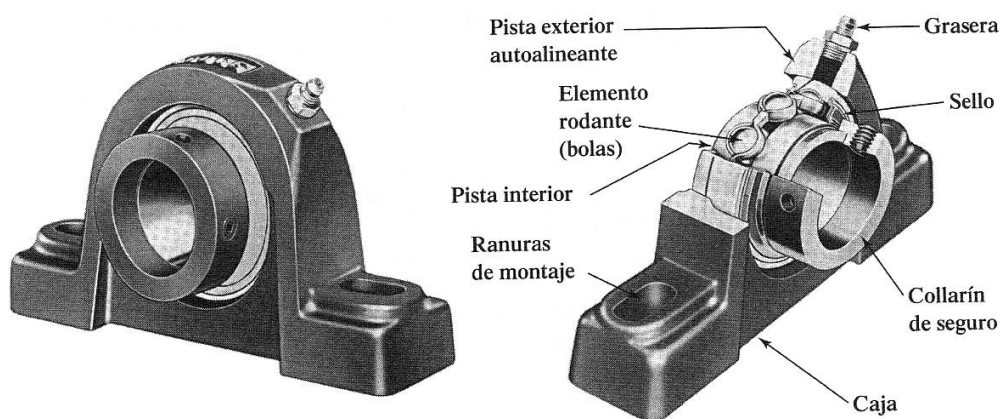
P _{Motor} [hp]	n ₂ (60 Hz) [rpm]	T ₂ [lb in]	SF [-]	Ratio [-]	Gear Motor
0.5 (60 Hz)	3.2	8476	1.8	534	D.88-Z28-M71M4
	3.6	7493	2	472	
	3.1	8733	0.81	550	D.68-Z28-M71M4
	3.4	7953	0.89	501	
	3.8	7032	1	443	
	4.1	6492	1.1	409	
	4.8	5588	1.3	352	
	5.3	5075	1.4	320	
	6	5218	1.4	281.01	D.68-M71 M4
	6.8	4614	1.5	248.08	
	7.5	4198	1.7	226.07	
8.3	3773	1.9	203.09		
	5.5	4908	0.81	309	D.48-Z28-M71M4
	5.9	4526	0.88	285	
	6.8	3906	1	246	
	7.6	3542	1.1	223	
	8.1	3879	1	208.77	D.48-M71 M4
	9.1	3445	1.2	185.66	
	10.5	2993	1.3	161.05	
	11.2	2798	1.4	150.48	
	12.7	2462	1.6	132.34	
	14.5	2152	1.8	115.81	
	16.4	1904	2.1	102.52	D.38-M71 M4
18.1	1727	2.3	92.91		
14.2	2205	0.88	118.55		
16.2	1930	1	103.89		
18.4	1700	1.1	91.34		
20	1532	1.3	82.52		
23	1337	1.5	71.91		
26	1195	1.6	64.58		
29	1080	1.8	58.3		
32	983	2	52.86	Z.38-M71 M4	
38	814	2	44.12		
43	726	2.5	39.24	D.28-M71 M4	
21	1488	0.83	80.34		
24	1293	0.96	69.82		
28	1124	1.1	60.77	Z.28-M71 M4	
33	956	1.3	51.36		
39	808	1.5	43.3		
44	717	1.7	38.45		
50	628	2	33.71		
56	558	2.2	30.16		
63	496	2.5	26.77		
72	434	2.8	23.46		
82	380	3.2	20.63		
33	938	0.85	50.51	D.18-M71 M4	
39	797	0.99	43.15		
45	690	1.2	37.23	Z.18-M71 M4	
53	593	1.3	31.98		
57	549	1.5	29.45		
63	496	1.6	26.77		
71	442	1.8	23.99		
85	372	2.2	19.85		
100	318	2.5	16.92		
117	265	3	14.38		

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

ANEXOS II

PLANOS

Anexos A. Rodamiento de bola de una sola hilera con chumacera.



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO DE CAFÉ”

Anexos B. Reductor helicoidal

