



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Diseño de un secador de cáscara de café para condiciones de
uso industrial en la Finca el Parcos -San Ignacio-Cajamarca**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTOR:

Lozano Zambora, Julio (ORCID: 0000-0002-6962-6752)

ASESOR:

Dr. Carranza Montenegro, Daniel (ORCID: 0000-0001-6743-6915)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO - PERÚ

2020

Dedicatoria

A Dios, por ser mí ser supremo.

A mis amados padres por su inmenso amor, a mi hijo Julio Gabriel, y a mi esposa, por su amor y paciencia.

Asimismo, a mis hermanos, familiares y amigos que se involucraron en esta senda y me brindaron incondicionalmente su esfuerzo para cumplir con mi meta.

El Autor

Agradecimiento

*A la Universidad Cesar Vallejo Filial Chiclayo
Por haber aceptado ser parte de ella y
Abierto las puertas de su seno científico
Para poder estudiar mi carrera.
Un agradecimiento especial a las personas
Que me han proporcionado toda la información
Necesaria para elaborar este trabajo.*

Lozano Zambora, Julio

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Indice de tablas.....	vi
Índice de gráficos y figuras.....	ix
Indice de abreviaturas.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Tipo y diseño de Investigación.....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra, muestreo, unidades de análisis.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos	13
3.6. Métodos de análisis de datos.....	13
3.7. Aspectos éticos.....	13
IV. Resultados	14
4.1 Describir el proceso para obtener cascara de café.....	14
4.2 Determinar los parámetros de operación que influyan en el diseño del secador.....	18
4.2.1 Humedad del secado.....	18
4.2.2 Tiempo de secado	20

4.3	Diseñar y Seleccionar los componentes electromecánicos del secador, mediante el empleo de un software de diseño.	21
4.3.1	Cálculo del cilindro o tambor rotativo	21
4.3.2	Calor requerido para el secado.....	25
4.3.3	Cálculo del flujo de aire y selección del ventilador	32
4.3.4	Dimensionamiento del horno.	40
4.3.5	Cálculo del motor.....	43
4.4	Diseñar un secador piloto.....	48
V.	discusión	53
VI.	CONCLUSIONES.....	57
VII.	RECOMENDACIONES	58
	REFERENCIAS	59
	ANEXOS.	

Índice de tablas

Tabla 1.- Producción de café pergamino en la finca Parcos en el año 2019	14
Tabla 2.- Producción de café en las fincas durante el año 2019 e kilogramos.	15
Tabla 3.- Balance de los materiales obtenidos del procesamiento del café en cereza.....	15
Tabla 4.- Cantidad de pulpa de café en Kg producido en el año 2019 en kilogramos.	16
Tabla 5.- Composición química de la pulpa de café.	17
Tabla 6.- Cálculos estadísticos según el muestreo de producción de pulpa de café.....	17
Tabla 7.- Producción diaria de pulpa de café.	18
Tabla 8.- Humedades en el proceso de secado de la pulpa.	19
Tabla 9.- Cantidad de agua que contiene la pulpa de café.....	19
Tabla 10.- Humedad que se requiere retirar de la pulpa de café.	19
Tabla 11.- Cantidad de pulpa de café determinada como seca al 12% de humedad.....	20
Tabla 12.- Constantes para el modelo matemático Page para secado a 50°C.	20
Tabla 13.- Referencia del tiempo de secado de la pulpa de café.	21
Tabla 14.- Volumen que ocupa la pulpa de café en el cilindro.....	22
Tabla 15.- Volumen del cilindro interno.	23
Tabla 16.- Diámetros tentativos para el cilindro interior.	25
Tabla 17.- Medidas del cilindro o tambor interno.	25
Tabla 18.- Medidas del cilindro o tambor externo.	25
Tabla 19.- Características térmicas del acero	26
Tabla 20.- Características térmicas del poliuretano expandido	26
Tabla 21.- resistencia térmica para el cilindro de acero y la cobertura de aislante.	27
Tabla 22.- Resistencia térmica para las tapas del cilindro	28
Tabla 23.- temperaturas para cálculo de potencia térmica perdida por las paredes del secador.	28
Tabla 24.- Potencia perdida por paredes del cilindro.	28

Tabla 25.- Potencia térmica total perdida por las paredes del cilindro.	29
Tabla 26.- Masa de aire que se encuentra en el cilindro.	29
Tabla 27.- Cálculo de energía requerida para calentar el aire del cilindro.	30
Tabla 28.- Masa de agua para el secado de la pulpa de café	30
Tabla 29.- Calor requerido para evaporar el agua.	31
Tabla 30.- Cálculo de potencia y energía requerida para el secado de la pulpa de café.	32
Tabla 31.- Volumen de aire requerido para el secado de la pulpa de café.	33
Tabla 32.- Número de Reynolds para diámetro seleccionado con densidad del aire a 50°C.	34
Tabla 33.- Intervalos para el numero de Reynolds.	34
Tabla 34.- Aspereza relativa para el tubo hierro.	35
Tabla 35.- Perdidas primarias para la tubería del secador.	36
Tabla 36.- Diámetro hidráulico de la sección rectangular de salida del ventilador.	38
Tabla 37.- Relación de diámetros para determinar el factor K.	38
Tabla 38.- Perdidas secundarias para el acople entre ventilador y tubería.	38
Tabla 39.- Altura total requerida por el sistema.	39
Tabla 40.- Volumen requerido en el horno cada segundo.	40
Tabla 41.- Iteraciones de largo y ancho del horno.	40
Tabla 42.- Medidas que debe tener el horno.	41
Tabla 43.- Calor que debe generar el horno.	41
Tabla 44.- Cantidad de quemadores para cada tipo de quemador redondo.	42
Tabla 45.- Peso de la pulpa de café.	43
Tabla 46.- Volumen de cada pala con medidas propuestas.	44
Tabla 47.- Fuerza de las palas.	44
Tabla 48.- Volumen del eje del rotor.	45
Tabla 49.- Fuerza que se genera por el eje.	45
Tabla 50.- Cálculo del volumen de cada soporte.	45
Tabla 51.- Fuerza requerida para mover los soportes.	46
Tabla 52.- Fuerza total que se genera por el rotor.	46
Tabla 53.- Torque requerido por la máquina.	46
Tabla 54.- Potencia en el eje según las fuerzas que se requiere mover.	47

Tabla 55.- Potencia en el eje del motor.....	47
Tabla 56.- Potencia que se requiere del motor.....	47
Tabla 57.- Pruebas para el secado de café con el piloto.	48
Tabla 58.- Medidas de temperatura para prueba con el secador piloto.	49
Tabla 59.- Flujo ingresado por prueba en el secador piloto.	49
Tabla 60.- Medidas de humedad para las 14 pruebas realizadas.....	50

Índice de gráficos y figuras

Figura 1.- Cabina y resistencia eléctrica.....	8
Figura 2.- Ventilador centrífugo.	11
Figura 3.- Secador rotativo de flujo perpendicular.	11
Figura 4.- Cantidad de pulpa de café desechada durante el año 2019.	17
Figura 5.- Grafico de datos estadísticos según el muestreo de la cantidad de pulpa de café.	18
Figura 6.- Esquema de tabores para el secador rotativo.	22
Figura 7.- Área requerida para el cilindro o tambor interno.	24
Figura 8.- Porción del catálogo donde se muestra el flujo del ventilador seleccionado.	33
Figura 9.- Diagrama de Mooby para determinar el factor de fricción.	36
Figura 10.- Acople de ventilador a tubería.	37
Figura 11.- Coeficientes de perdidas secundarias para reducción. Fuente:	37
Figura 12.- Diámetro hidráulico de sección cuadrada. Fuente:.....	37
Figura 13.- Curvas del ventilador 1919 de presión vs caudal.	39
Figura 14.- Quemadores redondos.	42
Figura 15.- Rotor propuesto para el secador de pulpa de café.....	43
Figura 16.- Evolución de la humedad debido en el secador piloto.	51
Figura 17.- Línea de tendencia para la evolución de humedad durante el secado.	51

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

R: Resistencia en ohmios.

V: Diferencia de potencial en voltios.

I: Intensidad de corriente en amperios.

ρ : Coeficiente de proporcionalidad o la resistividad del material

L: Longitud del cable.

S: Área de la sección transversal del mismo.

V: Volumen

R: Radio

H: Altura.

f : Flexión.

W: Peso

L: Longitud

Y: Contenido de humedad

T: Tiempo de Secado

N: Constantes propia del modelo

K: Constantes propia del modelo

V_{pc}: Volumen de la pulpa de café

M_{pc}: Masa de la pulpa de café

D_{pc}: Densidad de la pulpa de café

A: Área transversal del cilindro

L: Longitud del cilindro

V_{ci}: Volumen del cilindro

r_{ter} : Resistencia térmica

e_{pared} : Espesor de la pared

K: Constante térmica

A: Área de la pared

\dot{Q} : Resistencia térmica

T_{int} : Temperatura interna

T_{ext} : Temperatura externa

$r_{ter-tot}$: Resistencia térmica total

m_{agua} : Cantidad de agua que contiene de la pulpa de café

PC: Cantidad total de la pulpa de café húmedo

H_{pc-i} : Humedad inicial de la pulpa de café

H_{pc-f} : Humedad final de la pulpa de café

Q evaporación: Calor requerido para evaporar el agua

m_{agua} : Masa de agua

L: Calor latente del agua

Q total: Calor requerido para secar la pulpa de café

C_p . aire: Calor específico del aire

T_{int} : Temperatura interna del aire dentro del cilindro

T_i : Temperatura inicial

V: Velocidad en m/s

D: Diámetro de la tubería en mm

ρ : Densidad del aire a la temperatura de trabajo 50°C

μ : Viscosidad dinámica del aire

V: Velocidad del flujo

g: Gravedad

L: Longitud de la tubería

f: Coeficiente de fricción

Ar: Aspereza relativa

e: Coeficiente de rugosidad absoluta (0.05 m para el hierro)

D: Diámetro del conducto

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad establecer el diseño de un secador para el secado de la pulpa de café (cascara de café) que se obtiene del proceso de pilado del café cerezo en la Finca el Parcos San José de Lourdes San Ignacio –Cajamarca, la investigación estableció la producción de café de la finca y calculó la cantidad de cascara que se desperdicia teniendo un promedio de 10 002.41 kg al año, la producción es constante todos los años en la finca por lo que se diseñara una máquina para el secado de la pulpa generada al día siendo esta 55.57 kg diarios de pulpa de café ,se establece un secador mediante un cilindro fijo y un eje compuesto por tres palas que moverán la cascara de café mientras ingresa aire caliente de un horno impulsado por un ventilador industrial, según los modelos matemáticos se establece que el tiempo de secado es de 1.8 a 1.9 horas el cual se rectifica con un secador piloto determinando que el diseño establecido es correcto.

Palabras clave: Pulpa de café, Diseño de máquina, Secadora.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to establish the design of a dryer for drying the coffee pulp (coffee husk) that is obtained from the process of piling the coffee cherry at Finca el Parcos San José de Lourdes San Ignacio - Cajamarca, the investigation established the coffee production of the farm and calculated the amount of husk that is wasted having an average of 10 002.41 kg per year, the production is constant every year on the farm so a machine for the drying of the pulp generated per day, this being 55.57 kg of coffee pulp per day, a dryer is established by means of a fixed cylinder and an axis composed of three blades that will move the coffee shell while hot air enters from an oven driven by an industrial fan According to the mathematical models, it is established that the drying time is 1.8 an 1.9 hours, which is rectified with a pilot dryer, determining that the established design is correct.

Keywords: Coffee pulp, Machine design, Dryer.

I. INTRODUCCIÓN

Realidad Problemática

Los diseños de un sistema de secado de café deben tener como objetivo la calidad del grano, de esta manera se complementarían el sistema haciéndolo participe de energías renovables con la finalidad de disminuir la huella ecológica, así mismo tener un gran destaque en el mercado del café. En el país de Costa Rica la sustentación teórica es saber sacar provecho de la energía solar disponible y aumentar la temperatura del aire para con ello ejecutar el secado, se puede distribuir en dos etapas; primeramente, utilizar un colector solar de aire y una cámara para deshumidificar el grano de café, además de disminuir su contenido de humedad, con una base de humedad 53% hasta 12%, dichos valores son establecidos por el Instituto Costarricense de Café (ICAFFE). Se indica que el diseño de la cámara de secado, una de las ventajas para el producto siendo el café en este caso, este no maltrata al grano tampoco se expone a la contaminación del medio ambiente, a la vez su deshumidificación no se ve forzada ni acelerada (Ramírez Hernández, 2015 pág. 11).

Nuestro país hoy en día está considerado dentro de los 10 mejores países de producción cafetalera, dando así un gran realce, desarrollo y economía dentro de la Industria Cafetalera peruana, es por ello que indicamos el proceso de secado destacado haciendo uso de medios mecánicos y naturales con un control de temperatura y a la vez humedad del grano, todo ello es principal para lograr alcanzar calidades superiores y ser competitivos con este producto. Se dice también que hay otros beneficios que han permitido un buen monitoreo de caudales de aire de ingreso para los secadores, y como no el uso de la energía del sol, además del control de consumo eléctrico y el de subproductos, pues con ello se busca optimizar y mejorar el proceso de secado de la mano con los recursos energéticos. En el Perú la gran parte de controles realizados para el proceso de secado de café se ha realizado mediante métodos mecánicos

y no naturales, debido a que los tipos de secadores aprovechan los gases de combustión de calderas o aquellas donde se descomponen es decir la broza o miel para generar biogás, quemándolo y obteniendo calor (Mamani Villavicencio, 2015 pág. 10).

A nivel local se tuvo en cuenta la necesidad de la finca el Parcos del distrito de San José de Lourdes en la provincia de San Ignacio, en la cual el caficultor busca aumentar sus ingresos de manera constante y actualmente en las fincas la cascará se determina como un desecho del proceso de pilado del café cerezo, no como un sub producto teniendo estas diferentes alternativas de uso para diferentes mercados tanto locales como nacionales. Los cafetaleros no buscan alternativas para el uso de la cascará de café generando así un sobre costo en el desecho de la misma y la mala manipulación de estos residuos converge en una contaminación pasiva que al final establecerá un daño contundente al medio ambiente.

Formulación del Problema

Se sabe que la cascara del café se descompone con gran facilidad debido a la gran cantidad de humedad que posee, por lo tanto, si se diseñara un secador de cascara de café para lograr que esta tenga condiciones para el uso industrial se podría aprovechar la cascara de café de la Finca El Parcos en la provincia de San Ignacio del departamento de Cajamarca.

Justificación del Estudio

La presente investigación se justifica ya que a través de esta se aportará la información necesaria para seleccionar los equipos adecuados que se requieren para una perfecta generación de temperatura calorífica, además de balanzas, sensores, ventiladores, extractores lo cual son empleados comúnmente en las máquinas industriales que es lo que se busca en este proyecto.

Socialmente se justifica ya que el diseño de esta máquina será de un gran aporte dándole utilidad y rentabilidad a la zona con la necesidad de la cual se está basando este proyecto, San José de Lourdes siendo una zona cafetalera de nuestra región, es la caficultura que genera un buen incremento de ganancias, si buscamos aprovechar los sub productos del café como es la cascara, manteniendo sus propiedades y características esta se podrá industrializar.

En el aspecto económico se justifica el diseño del secador ya que secando la cascara del café, esta se puede aprovechar dándole diferentes utilidades y de esta manera generar ingresos adicionales al caficultor, ya que la cascara del café hasta la actualidad es desechada como basura.

La justificación ambiental tiene una base muy importante ya que debido al material del cual estará diseñado dicha maquina no generara ninguna contaminación es por ello que es factible ya que con esta máquina se aprovecha la cascara del café secándola para posteriormente industrializarla, evitando que esta sea desechada en el medio ambiente ya que la cascara de café en su proceso de descomposición termina contaminando los suelos y las fuentes de agua.

Hipótesis. Si se diseña un secador de cascara de café se podrá lograr que la cascara de café tenga condiciones para el uso industrial, aprovechando la cascara de café de la Finca El Parcos en la Provincia de San Ignacio del Departamento de Cajamarca.

Objetivos General. Diseñar un secador de cáscara de café para condiciones de uso industrial en la finca el Parcos San Ignacio - Cajamarca.

Objetivos Específicos. Para lograr el objetivo general, se tomaron en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- a) Describir el proceso para obtener cascara de café.
- b) Determinar los parámetros de operación que influyan en el diseño del secador.
- c) Seleccionar los componentes electromecánicos del secador, mediante el empleo de un software de diseño.
- d) Diseñar un secador piloto.

II. MARCO TEÓRICO

Guimac y Mendoza (2014) en su tesis “Estudio de Pre factibilidad para la instalación de una planta Procesadora de Café verde (*coffea arábica*) En la Localidad de Mashuyaco, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas” para obtener el título de Ingeniero Industrial; manifiesta que en la región de Amazonas, exactamente en la provincia de Rodríguez de Mendoza se conoce que su principal actividad económica de la población es la Agropecuaria, esta zona dedicada a la producción de café mantienen los métodos tradicionales para ejecutar sus trabajos agrícolas, es por ello que no cuenta con una alta o tolerable productividad en sus áreas de cultivo. Siendo así un bajo ingreso económico para sus habitantes, ya que estadísticamente el 90% de los pobladores se dedican netamente a la caficultura, otro problema en esta zona es el manejo tecnificado y la agro industrialización del café que es minoritaria comparando con otras regiones de nuestro Perú; es decir el producto (café) se vende a personas que son intermediarias, ellos compran el producto sin tener en cuenta los parámetros de calidad, es por eso que perjudica también al productor. Con el presente proyecto se busca promover, aumentar la producción de cascara de café, pero haciendo utilidad de nuevos métodos, sistemas, máquinas, aplicar la tecnología para más aun así se obtenga un producto de calidad.

Camacho Fonseca (2015) en su tesis “Diseño de un Secador para Café mediante el Calentamiento del aire en dos Etapas Utilizando Energía

Solar” para optar el título de Ingeniero Mecánico, con el objetivo de diseñar un sistema de secado de café para que la posibilidad de afectar la calidad del grano sea menor y a la vez haciendo uso de las energías renovables para ejecutar el proceso, de esta manera se reducirá la huella ecológica, además de sobre salir más el grano de café en el mercado internacional. La sustentación técnica se basó en la consideración de emplear como energía los rayos solares para aumentar la temperatura del proceso de secado, reduciendo su humedad, dividiéndole en dos etapas; la primera en un colector solar de aire y la segunda empleando una cámara de secado para poder deshumidificar el grano de café, al reducir su humedad se hizo una comparación estadística obteniendo que su humedad se redujo desde un 53% hasta un 12% según valores establecidos por ICAFE (Instituto Costarricense del Café). Se indica una gran ventaja en el diseño de la cámara de secado ya que esta no generó maltrato al grano muchos menos exponerlo a la contaminación ambiental, tomando en cuenta que la velocidad a la que se trabajó para su deshumidificación no se vio forzada menos acelerada.

Según el trabajo de investigación de **Palacios (2014)** “Secadoras solares tipo domo para café pergamino la Experiencia en Huehuetenango, Guatemala C.A.” para adquirir el grado de magister en Ingeniería Industrial , hace mención que el grano de café es una semilla a la cual se la debe evitar morir, ya que al morir se presentan unos cambios en cuanto a su composición química si nos referimos a ello entonces estamos hablando que afecta sus cualidades o propiedades organolépticas, sería su aroma, sabor, acidez, cuerpo, etc. El grano se puede conservar vivo hasta 6 años cuidándolo muy bien; es por eso que cada proceso del beneficio húmedo es principal ya que cada uno de estos debe ejecutarse con suma cautela, es así como se busca la calidad del grano de café, siendo entonces el objetivo de este proyecto seleccionar el tipo de máquina para secado de la cascara de café ya que esta parte del proceso es sumamente importante pues con el secado se evita la fermentación, reducir el contenido de humedad para así inhibir el desarrollo de hongos

además de evitar que sufra daños en su composición química y aspecto físico.

En la investigación de **Henao (2015)** en su tesis “Estimación del procedimiento de secado de café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza” para obtener el grado de Ing. Mecánico; nos indica que si al grano de café con toda cascara se le adecua a una determinada temperatura de flujo de aire con razón a 50°C-60°C y 300m³/min, con esto se evalúa conseguir un nivel alto de calidad, en este proceso de secado infiera mucho la máquina que ejecutara el secado a la cascara del café ya que depende de esta que se reduzca su humedad y lo haga en un tiempo establecido no muy alargado, para con ello poder darle un buen valor económico dentro del mercado cafetalero, pues muchos pobladores de las diferentes zonas dedicados a la caficultura dependen de esta actividad agrícola para su sustentación día a día y el desarrollo de su comunidad.

a) Aire caliente en el secado.

Para conservar sus propiedades tanto físicas como características de la cascara de café, en este caso se busca que mediante la cantidad de aire caliente inyectado disminuya la cantidad de agua del producto, pues así se pueda almacenar en largos periodos de tiempo.

b) Temperatura de bulbo húmedo.

Con sus siglas TGBH es como se representa la temperatura de bulbo húmedo, esta temperatura mide la temperatura aparente, el efecto refrescante de la velocidad del aire, la humedad y la radiación solar en los humanos. Dicha temperatura es útil para higienistas industriales, militares con la finalidad de determinar cuan expuestos adecuadamente deben estar a altas temperaturas y sin duda alguna los atletas.

c) Temperatura de bulbo seco.

La temperatura de bulbo seco toma la medida por intermedio de un termómetro convencional fabricado con mercurio. Se hace mención su destacada participación de esta temperatura en la valoración del bienestar térmico juntamente con la determinación de la humedad del aire, además en la psicrometría enfocándose en el cálculo y estudiando las transformaciones del aire húmedo.

En la psicrometría se emplea un diagrama o carta psicométrica, debido que cuenta con dos valores como entrada, definiendo a uno de ellos como la temperatura seca debido a que su determinación es fácil, involucrándose a conocer las propiedades de las mezclas vapor de agua y aire seco.

d) Resistencias eléctricas.

En la física mecánica la resistencia eléctrica se da con una semejanza a la fricción. Para realizar su medición encontramos distintos métodos entre los más destacados resalta su unidad que es el ohmio establecida por el Sistema Internacional de Unidades. Su magnitud recíproca es la conductancia, medida en Siemens.

Según la ley de Ohm se puede definir como la diferencia de potencial eléctrico a la resistencia eléctrica de un material y la corriente que atraviesa dicha resistencia se representara de la siguiente forma:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dónde:

R: resistencia en ohmios.

V: diferencia de potencial en voltios.

I: intensidad de corriente en amperios.

Se denomina que la diferencia de potencial e inversamente proporcional a su resistencia, es la intensidad de la corriente que atraviesa un conductor siendo directamente proporcional.

El coeficiente es de quien depende directamente la resistencia de un conductor, siendo inversamente proporcional a su sección transversal y directamente proporcional a su longitud, además su sección transversal disminuye según aumente su grosor.

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Dónde:

ρ : Coeficiente de proporcionalidad o la resistividad del material.

L: Longitud del cable.

S: Área de la sección transversal del mismo.

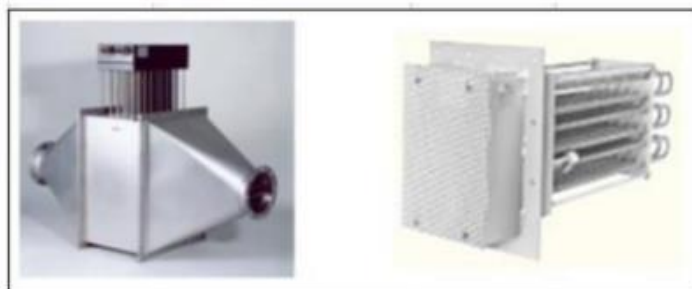


Figura 1.- Cabina y resistencia eléctrica. Fuente: Heating

e) Tambor cilíndrico de acero inoxidable.

Recalcamos que un tambor de acero cuenta con propiedades mecánicas excelentes a altas temperaturas en comparación con otros materiales, nos referimos a propiedades como elasticidad, ductilidad y dureza, ya que al mezclarse el resultado es un producto de una gran resistencia ante desgastes generado por golpes, roces, elasticidad y abrasión es por ello que este tipo de tambor es utilizado en una gran variedad de proyectos. El material del cual está compuesto muestra una resistencia también al fuego en trabajos estructurales ya que cuenta con una temperatura de fluencia elevada, superior a 800°C, no desprende humos tóxicos. Con un 10.5% de cromo que comúnmente se genera en su superficie tras tener contacto con la humedad del aire, si es dañada su superficie la capa pasiva se regenera, es por ello que tiene la particularidad de resistir a la corrosión es decir es inoxidable.

La fórmula para el volumen del cilindro es la siguiente:

$$v = \pi r^2 h$$

Dónde:

V: volumen

R: radio

H: altura.

Fórmula para hallar la flexión del cilindro se recurre a la fórmula:

$$f = \frac{W}{L}$$

Dónde:

f : Flexión.

W: peso

L: longitud

f) Aislamiento térmico en fibra de vidrio.

Llamados excelentes aislantes térmicos debido a su alto índice de área superficial en relación a su masa, es decir el aire atrapado entre los bloques de fibra de vidrio hacen que sean un gran aislante térmico, asignándole una conductividad de 0.05 W / (m K) . Pero es muy vulnerable al ataque químico debido a su sobre dimensión, hacemos mención que la fibra de vidrio tiene incluido aparte de un aislamiento térmico un aislamiento acústico y eléctrico en recubrimientos, siendo así un refuerzo para materiales, palos de tiendas de campaña, opaca los sonidos, telas resistentes al calor y a la corrosión, tragaluces, partes de carrocería de automóviles, arcos, ballestas entre otros más, incluyendo el aporte con objetivos médicos en férulas.

g) Ventilador de flujo guiado.

Denominado también propulsor, es decir este ventilador de flujo se encuentra inmerso en la interior de un conducto cilíndrico, con la finalidad de evitar que este conducto tenga perdidas al momento del empuje del flujo lo cual evita que se desgasten las puntas de las hélices. La sección transversal al variar, la velocidad y la presión del flujo lo hacen también, con esto puedo verse afectado el diseño obteniendo ventajas, esto establecido por el principio de Bernoulli.



Figura 2.- Ventilador centrífugo. Fuente: Ventiladores Sodeca.

h) Flujo perpendicular de aire caliente en secador rotatorio.

Se determina que el flujo del aire caliente es transversal; ya que las cascaras de café caen en forma de lluvia dentro de un flujo gaseoso con aire caliente que se mueve a un ritmo lento, con frecuencia, arrastrando a las partículas finas.

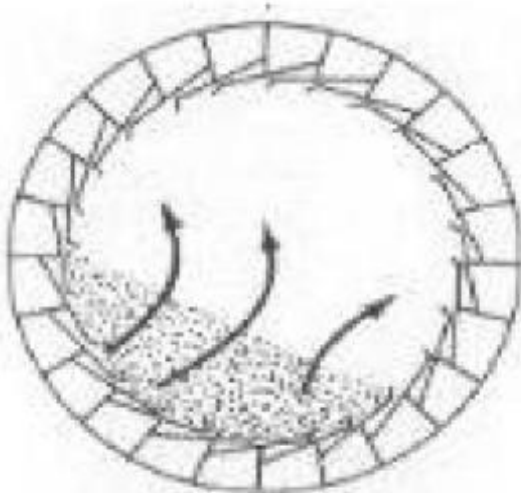


Figura 3.- Secador rotativo de flujo perpendicular. Fuente: Secadores.com

III. METODOLOGÍA.

3.1. Tipo y diseño de Investigación.

Descriptiva. - porque se describirá la realidad sin ninguna modificación o alteración sobre ella.

Aplicado-tecnología. - porque los resultados se podrán usar para solucionar el problema de manera directa.

No experimental. - porque en el estudio no se va controlar ni manipular las variables.

3.2. Variables y operacionalización.

Variable independiente Diseño del secador de cascara de café.

Variable dependiente. Condiciones industriales

El cuadro de Operacionalización de variables se muestra en el anexo 03.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidades de análisis.

La muestra será igual a la población y se establece como:

- La cascara de café de la finca el Parcos

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1 Técnicas de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos	Objetivo
Observación directa	Ficha de registro para parámetros	Se registrara las condiciones con las que tiene la cascara de café en las fincas
Análisis de documentos	Ficha de análisis de documentos	Se utilizara para recoger datos de manuales, ensayos o investigaciones que rijan como antecedentes a esta investigación.

3.4.2 Validez y confiabilidad

Validez: la valides de los instrumentos será dada por la aprobación de un especialista en el área.

Confiabilidad: la confiabilidad se determinará por medio de una declaración jurada que se dispondrá en el informe de investigación.

3.5 Procedimientos

Para realizar esta investigación se siguió el siguiente procedimiento propuesto:

- Se estableció el proceso para la obtención y la cantidad de pulpa de café según las cantidades de producción de café pergamino.
- Se determinó la cantidad de humedad que debe retirarse de la pulpa de café estableciendo las cantidades permisibles de humedad para la pulpa comercial.
- Se calculó la cantidad de calor que requiere el proceso de secado para seleccionar los quemadores correspondientes para el horno.
- Se diseñó la estructura de soporte para la cantidad de pulpa de café promedio que se produce cada día.
- Se seleccionó el ventilador para llevar el caudal de aire caliente suficiente para el secado de la pulpa de café
- Se evaluó económicamente si la secadora de pulpa de café propuesta es rentable.

3.6 Métodos de análisis de datos

Los métodos que se utilizarán serán estadísticos, específicamente estadística descriptiva donde se establecerá la descripción de la realidad tal y cual es.

3.7 Aspectos éticos

Se mantendrá en reserva la información que pueda causar un conflicto de intereses dentro de la investigación, y se tendrá en cuenta el consentimiento de los involucrados para poder utilizar la información que sea brindada. Se respetará los derechos de autor de los textos de cualquier publicación de la cual sea utilizada la información, citándolos dentro del informe del proyecto.

IV. RESULTADOS

4.1 Describir el proceso para obtener cascara de café.

La presente investigación tiene por finalidad diseñar un secador de cascara de café para que pueda ser usada de manera industrial en la demanda que tiene en el sector, el proceso del cual se obtiene la cascara de café es el pilado del café cerezo de la producción de la finca el Parcos ubicada en el Distrito de San José de Lourdes provincia de San Ignacio del Departamento de Cajamarca, la finca el Parcos, tiene una extensión de 5 hectáreas, se encuentra a una altitud de 2292 msnm en el nor oriente peruano, la cosecha se realiza una vez por año y este periodo dura seis meses empezando de abril hasta finales de septiembre en el cuadro siguiente se muestra la toma de datos de la producción de café pergamino y cascara de café durante el año 2019, la unidad de medida que se tomó para levantamiento de datos es de quintales al mes en el anexo uno se puede apreciar la tabla de producción diaria durante el año 2019, en la finca el Parcos el horario de trabajo es de lunes a sábado durante 8 horas arrancando la jornada diaria desde las 8:00 de la mañana hasta las 17:00.

Tabla 1.- Producción de café pergamino en la finca Parcos en el año 2019

MES	Total Quintales/mes
ENERO	0
FEBRERO	0
MARZO	0
ABRIL	32.01
MAYO	34.16
JUNIO	31.86
JULIO	33.64
AGOSTO	34.36
SETIEMBRE	29.77
OCTUBRE	0
NOVIEMBRE	0
DICIEMBRE	0
Total	195.80

Fuente: Propia

El café recolectado por mes está determinado en quintales que a la medida el quintal tiene un equivalente de 46 kg, así que realiza la conversión en kilogramos de café.

Tabla 2.- Producción de café en las fincas durante el año 2019 en kilogramos.

MES	Total	
	Quintal	Kg
ABRIL	32.01	1472.46
MAYO	34.16	1571.36
JUNIO	31.86	1465.56
JULIO	33.64	1547.44
AGOSTO	34.36	1580.56
SEPTIEMBRE	29.77	1369.42
Total	195.8	9006.8

Fuente: Propia

En la publicación Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización Publicado por El Instituto de Nutrición de Centro América Y Panana se establecen las relaciones entre el peso del café cerezo y la pulpa de café.

Tabla 3.- Balance de los materiales obtenidos del procesamiento del café en cereza.

Producto	Peso Fresco		Humedad	Peso Seco	
	g	%	%	g	%
Café Cerezo	1000	100.0%	65.5%	345	100.0%
Pulpa de Café	432	43.20%	77.0%	99	28.7%
Fruto de café, mucílago, cascarilla	568	56.80%	56.0%	250	72.2%
Mucílago	-	-	-	17	4.9%
Fruto de café , cascarilla	450		50.0%	225	-
cascarilla	61	6.1%	32.0%	41	11.9%
fruto del café	389	38.9%	51.0%	191	55.4%

Fuente: (Instituto de Nutricion de Centro America y Panama INCAP, 1978)

Por lo tanto, se puede ver que los porcentajes que referencia la tabla 3 determina que la pulpa de café se establece en porcentaje del café cerezo, de la misma forma el fruto de café o café pergamino que se determina como fruto principal y es el establecido en la tabla 4 como producción en kilogramos tiene una referencia en porcentaje en cuanto al café cerezo. Para determinar la cantidad de pulpa de café que se produce por producción de café pergamino se realiza el comparativo con referencia al café cerezo.

Tabla 4.- Cantidad de pulpa de café en Kg producido en el año 2019 en kilogramos.

Mes	Café Cerezo	Café pergamino seco	Pulpa de café fresca
Abril	3785.24	1472.46	1635.23
Mayo	4039.49	1571.36	1745.06
Junio	3767.51	1465.56	1627.56
Julio	3977.99	1547.44	1718.49
Agosto	4063.14	1580.56	1755.27
Setiembre	3520.36	1369.42	1520.80
Total	23153.73	9006.80	10002.41

Fuente: Propia

La pulpa de café eliminada durante el año 2019 fue un total de 10002.41 kilogramos lo que equivale a 10.00241 toneladas aproximadamente, es determinante mencionar que este subproducto muchas veces se toma como desecho no siempre se logra tener beneficio con su venta ya que no se logra secar totalmente para mantener sus propiedades y poder venderlo. En la siguiente figura se muestra un gráfico con la cantidad de pulpa de café que se eliminó durante el año 2019.

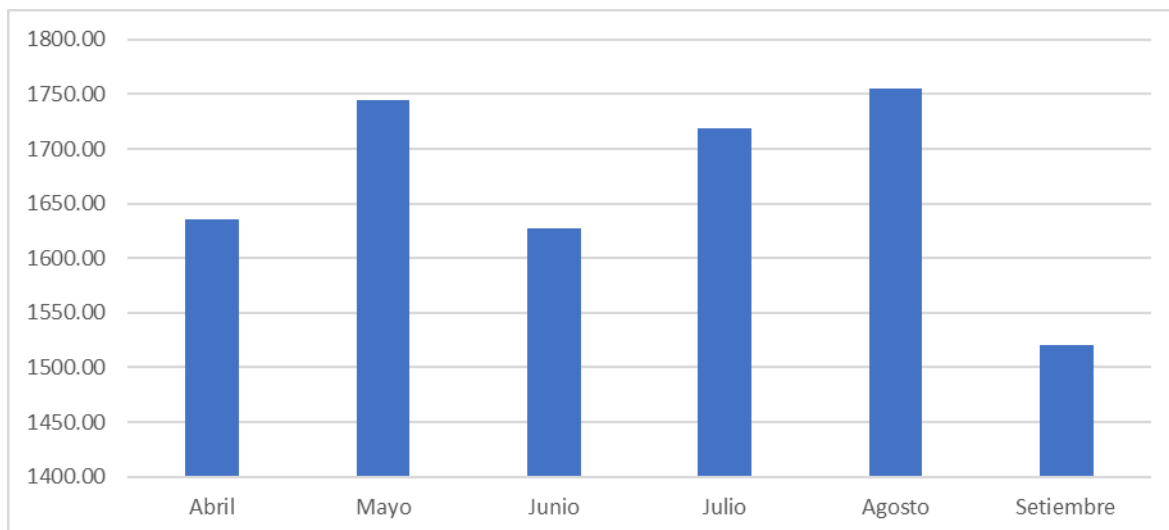


Figura 4.- Cantidad de pulpa de café desecheda durante el año 2019. Fuente: Propia

Cabe mencionar que la pulpa de café para que resulte tratable y se pueda comercializar se la debe llevar a una humedad de 12 y 15% para que no pierda sus propiedades. Siendo las propiedades químicas de la pulpa de café como se muestran a continuación.

Tabla 5.- Composición química de la pulpa de café.

	%		
	Fresca	Deshidratada	Fermentada naturalmente y deshidratada
Humedad	76.7	12.6	7.9
Materia seca	23.3	87.4	92.1
Extracto etéreo	0.48	2.5	2.6
Fibra cruda	3.4	21	20.8
Proteína cruda N x 6.25	2.1	11.2	10.7
Cenizas	1.5	8.3	8.8
Extracto libre de nitrógeno	15.8	44.4	49.2

Fuente: (Instituto de Nutricion de Centro America y Panama INCAP, 1978)

Se calculan los datos estadísticos del muestreo que se calculó en cuanto a producción de pulpa de café durante el año 2019.

Tabla 6.- Cálculos estadísticos según el muestreo de producción de pulpa de café.

Descripción	Estadística
Media	1,665.00
Mediana	1,676.86
Desviación estándar	89.98
Varianza	8,095.55
Valor máximo	1,755.27
Valor mínimo	1,520.80

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra un gráfico estableciendo los valores estadísticos calculados.

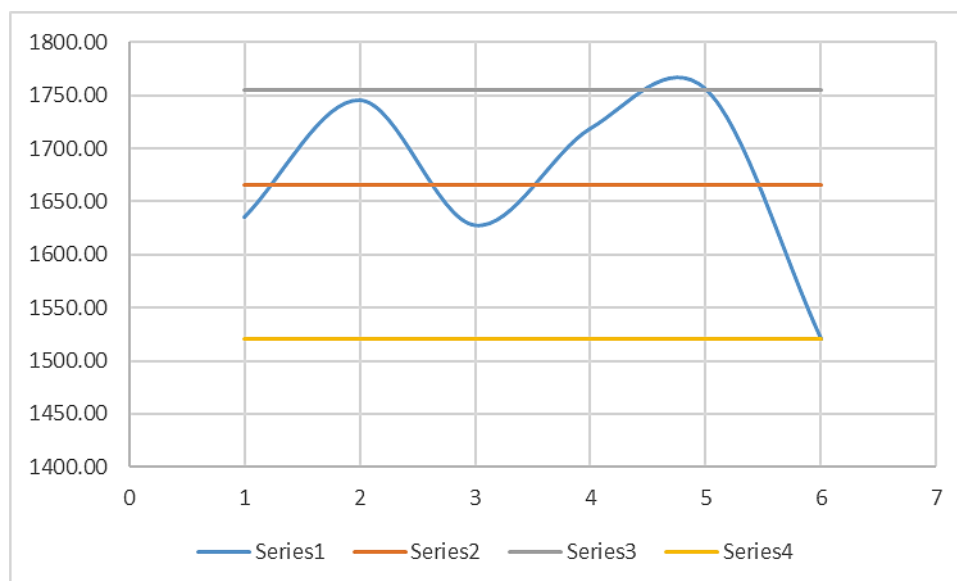


Figura 5.- Gráfico de datos estadísticos según el muestreo de la cantidad de pulpa de café. Fuente: Propia

4.2 Determinar los parámetros de operación que influyen en el diseño del secador.

4.2.1 Humedad del secado

El primer parámetro que se requiere para el diseño es la producción de pulpa de café que se debe secar con la máquina, estableciendo que el secado de cascara de café debe ser en menos de un día como criterio de diseño se establece que mensualmente según la estadística descrita tiene una producción de 1,667.06 kg, estableciendo un mes de 30 días se tendrá:

Tabla 7.- Producción diaria de pulpa de café.

Producción	1667.06	Kg/mes
Días	30	días/Mes
Producción	55.57	kg/día

Fuente: Propia

El siguiente parámetro de diseño es la humedad, se debe considerar la humedad a la que ingresa y la humedad a la que sale.

Tabla 8.- Humedades en el proceso de secado de la pulpa.

Humedad de inicio	77%
Humedad requerida	12%
	15%

Fuente: Propia

La densidad de la pulpa húmeda se considera 270 kg/m³ según la publicación en Avances Técnicos – TECNICAFFE (Propiedades Físicas y Factores de Conversión del Café en el Proceso de Beneficio, 2008).

Contenido de agua de la pulpa de café se determina considerando la humedad inicial con la que se recibe el grano ya que el 77% de la pulpa húmeda es agua, se tiene:

Tabla 9.- Cantidad de agua que contiene la pulpa de café.

Ca-pc	42.78	kg
PC	55.57	kg
Hpc-i	77%	

Fuente: Propia

La humedad que se requiere retirar de la pulpa de café se calcula como la diferencia entre humedades, teniendo la humedad de inicio que es con la que ingresa la pulpa y la humedad final que es con la que se requiere que considerando el dato más crítico será la humedad menor teniendo.

Tabla 10.- Humedad que se requiere retirar de la pulpa de café.

Hpc-r	65%	Humedad de la pulpa de café a retirar
Hpc-i	77%	Humedad inicial de la pulpa de café
Hpc-f	12%	Humedad final de la pulpa de café

Fuente: Propia

Con esto se determina la cantidad de pulpa que quedara en el secador al terminar el secado.

Tabla 11.- Cantidad de pulpa de café determinada como seca al 12% de humedad.

PC12%	36.11	kg	Cantidad de pulpa de café al 12% de humedad
Hpc-r	65	%	Humedad de la pulpa de café a retirar
PC	55.56	kg	Pulpa de café

Fuente: Propia

4.2.2 Tiempo de secado

Según el estudio “(Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas, 2019)” se determinó que el modelo matemático para establecer el comportamiento del secado en la pulpa de café fue el de Page.

$$Y = \exp(-kt^n)$$

Dónde:

- Y Contenido de humedad
- t Tiempo de Secado
- n Constantes propia del modelo
- k Constantes propia del modelo

Para el secado a 50°C las constantes que se utilizaron según el estudio mencionado.

Tabla 12.- Constantes para el modelo matemático Page para secado a 50°C.

T	50	°C
n	1.283	
K	0.804	

Fuente: (Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas, 2019).

Así se calculó la proyección del tiempo de secado como referencia:

Tabla 13.- Referencia del tiempo de secado de la pulpa de café.

Y	t	Humedad
100.00%	0	77.00%
44.75%	1	34.46%
40.31%	1.1	31.04%
36.21%	1.2	27.88%
32.44%	1.3	24.98%
28.99%	1.4	22.33%
25.86%	1.5	19.91%
23.01%	1.6	17.71%
20.43%	1.7	15.73%
18.10%	1.8	13.94%
16.01%	1.9	12.33%
14.14%	2	10.88%

Fuente: Propia

En la primera columna se menciona los resultados del modelo matemático de Page donde se establece como se desenvolverá la humedad. Estableciendo la humedad a la que ingresa la pulpa de café en el secador (77%) es el 100% según el modelo matemático como se muestra en la tabla 13, a 1.8 a 1.9 horas ya se tendrá una disminución al requerimiento necesario del parámetro medido que es la humedad es decir que entre 1.8 y 1.9 horas se reducirá el parámetro de 100% a 18.1 – 16.01 %, al ser este parámetro la humedad inicial de 77% en este tiempo se tendrá 13.94 – 12.33% que ya corresponde a la humedad requerida para la pulpa de café.

4.3 Diseñar y Seleccionar los componentes electromecánicos del secador, mediante el empleo de un software de diseño.

4.3.1 Calculo del cilindro o tambor rotativo

Este cilindro es un cilindro hueco donde se colocará la pulpa de café, se ingresa aire caliente por la parte lateral inferior.

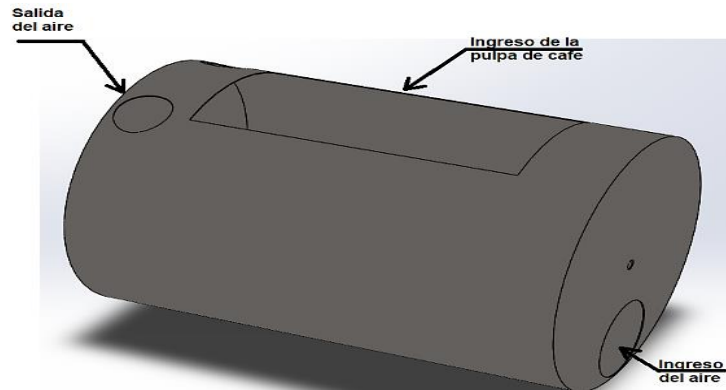


Figura 6.- Esquema de tabores para el secador rotativo. Fuente: Propia

Se determina la cantidad de pulpa de café a secar de manera diaria ya que al almacenarse la pulpa se fermenta y ya no puede ser comercializada, así con la densidad de la pulpa de café se obtiene el volumen mínimo que debe tener el cilindro.

$$V_{cp} = \frac{M_{pc}}{D_{pc}}$$

Dónde:

- V_{pc} : Volumen de la pulpa de café
- M_{pc} : Masa de la pulpa de café
- D_{pc} : Densidad de la pulpa de café

Se obtiene:

Tabla 14.- Volumen que ocupa la pulpa de café en el cilindro.

V _{pc}	0.20	m ³
M _{pc}	55.56	kg/día
D _{pc}	270	kg/m ³

Fuente: Propia

La pulpa de café no debe ocupar todo el espacio del cilindro por lo que se debe considerar un porcentaje más de espacio. Durante los ensayos

del piloto se determinó que el 50% del volumen del cilindro debe ser ocupado por la pulpa de café para obtener los resultados requeridos (título 4.4).

Por lo que el volumen que debe tener el cilindro interior sin considerar el tubo hueco que conduce el aire será de:

Tabla 15.- Volumen del cilindro interno.

Vci	0.25	m ³
Vpc	0.20	m ³
Espacio	50%	

Fuente: Propia

Para el eje se diseñó se determinó según criterio de diseño un eje de 1 pulgada de diámetro y asumiendo longitudes de 1 a 2 metros como máximo también como criterio de diseño se establece las siguientes medidas para el cilindro interno.

$$A = \frac{V_{ci}}{l}$$

Dónde:

- A : Área transversal del cilindro
- l : Longitud del cilindro
- Vci : Volumen del cilindro

El área del transversal que se requiere es la mostrada en la figura:

Cilindro o Tambor interno

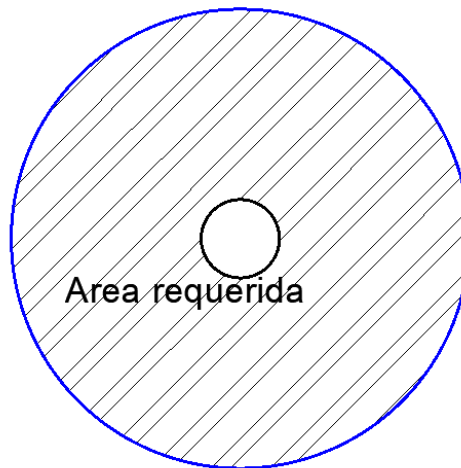


Figura 7.- Área requerida para el cilindro o tambor interno. Fuente: Propia

El área requerida es el área del cilindro sin considerar el área del eje por donde pasa el aire caliente para secar la pulpa de café.

$$A = \frac{\pi (d_{ci} - d_{th})^2}{4}$$

Dónde:

d_{ci} : Diámetro del cilindro

d_{th} : Diámetro del eje

Debido a que el diámetro del eje ya se estableció como 1 pulgada se podrá calcular el diámetro del cilindro despejándolo de la ecuación.

$$d_{ci} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} + d_{th}$$

Teniendo en consideración el rango de longitudes se estableció que diámetros tentativos podrían existir.

Tabla 16.- Diámetros tentativos para el cilindro interior.

dci	l	A
m	m	m ²
0.69	0.72	0.35
0.65	0.82	0.31
0.61	0.92	0.27
0.59	1.02	0.25
0.56	1.12	0.22
0.54	1.22	0.21
0.52	1.32	0.19
0.50	1.42	0.18
0.48	1.52	0.17
0.47	1.62	0.16
0.46	1.72	0.15

Fuente: Propia

Según los antecedentes se tomaron medidas sugerentes para desarrollar el secador:

Tabla 17.- Medidas del cilindro o tambor interno.

dci	0.61	m
l	0.92	m
A	0.27	m ²

Fuente. Propia

El diámetro del cilindro externo se considera por el espesor de la lámina que será de 2 mm para fabricar el cilindro así el diámetro externo será:

Tabla 18.- Medidas del cilindro o tambor externo.

dcex	0.63	m
e	0.02	m
l	0.92	m

Fuente: Propia

4.3.2 Calor requerido para el secado

Para el cálculo del calor que se requiere para el secado de la pulpa de café se determinó:

- El calor que se pierde por las paredes
- El calor requerido para calentar el aire
- El calor requerido para evaporar el agua

a) Calor de pérdida por las paredes del cilindro.

Se establecen las características térmicas del acero como:

Tabla 19.- Características térmicas del acero.

Elemento	Acero	
Densidad	7833	kg/m ³
k	50	w/m ² K
Cp	465	J/kg K

Fuente: (Vivas Carmona, y otros, 2007).

Se realizó el cálculo de la pérdida de calor sin aislante en el recubrimiento, pero las cifras fueron muy elevadas por lo que se consideró como en los antecedentes de esta investigación tener un aislante que para este tipo de máquinas es el recubrimiento de poliuretano expandido, así también se detallan las características del mismo:

Tabla 20.- Características térmicas del poliuretano expandido

Elemento	Poliuretano expandido	
Densidad	10	kg/m ³
k	0.043	w/m ² K

Fuente: (Vivas Carmona, y otros, 2007)

Se determinó las pérdidas en las paredes del cilindro y las paredes de las tapas del cilindro, así se calcula la resistencia de cada área para los cilindros la resistencia térmica para un cilindro hueco se calcula.

$$r_{ter} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi kl}$$

Dónde:

- r_{ter} : Resistencia térmica
- r_{ext} : Radio exterior
- r_{int} : Radio interior
- k : Constante térmica
- l : Longitud del cilindro

Considerando los diámetros interiores y exteriores.

Tabla 21.- resistencia térmica para el cilindro de acero y la cobertura de aislante.

Parámetro	Acero	Aislante	Unidad
r_{ter}	0.000223	0.243807	k/w
r_{ext}	0.327	0.3475	m
r_{int}	0.307	0.3275	m
k	50	0.043	w/m ² K
l	0.9	0.9	m

Fuente: Propia

La resistencia de las tapas se calcula en base de la ecuación:

$$r_{ter} = \frac{e_{pared}}{A_{pared} k}$$

Dónde:

- r_{ter} : Resistencia térmica
- e_{pared} : Espesor de la pared
- k : Constante térmica
- A : Área de la pared

Se tiene:

Tabla 22.- Resistencia térmica para las tapas del cilindro

Parámetro	Acero	Aislante	Unidad
r _{ter}	0.000118741	1.38070465	K/w
A pared	0.34	0.34	m ²
r _{ext}	0.33	0.33	m
e _{pared}	2	20.0000	mm
k	50	0.043	w/m ² K

Fuente: Propia

Con el calor que se pierde por las paredes se determina:

$$\dot{Q} = \frac{(T_{int} - T_{ext})}{r_{ter-tot}}$$

Dónde:

\dot{Q} : Resistencia térmica

T_{int} : Temperatura interna

T_{ext} : Temperatura externa

r_{ter-tot} : Resistencia térmica total

Tabla 23.- temperaturas para cálculo de potencia térmica perdida por las paredes del secador.

T _{int}	50	°C
	323	K
T _{ext}	25	°C
	298	K

Fuente: Propia

Por lo que el calor de las paredes y tapas del cilindro del secador:

Tabla 24.- Potencia perdida por paredes del cilindro.

Parámetro	Cilindro	Tapas	Unidad
Q	102.45	18.11	w
r _{ter}	0.244	1.381	k/w

Fuente: Propia

La potencia térmica total perdida por las paredes sería la sumatoria de la potencia térmica de las paredes y de las tapas.

$$Q_{\text{paredes}} = Q_{\text{cilindro}} + Q_{\text{tapas}}$$

Tenemos:

Tabla 25.- Potencia térmica total perdida por las paredes del cilindro.

Q paredes	120.55	w
Q cilindro	102.45	w
Q tapas	18.11	w

Fuente: Propia

b) Calor para calentar el aire.

Para determinar el calor requerido para calentar el aire se debe considerar la masa del aire requerido que existe en el cilindro, por lo que se determinara del volumen del cilindro teniendo la densidad del aire a 50°C se determina la masa del aire que se encuentra en el cilindro:

Tabla 26.- Masa de aire que se encuentra en el cilindro.

m aire	0.33	Kg
ρ	1.20	Kg/m ³
Vci	0.27	m ³

Fuente: Propio

El calor requerido para calentar el aire se determina por medio del poder calorífico específico y la masa del aire:

$$Q_{\text{cal aire}} = m_{\text{aire}} c_{p_{\text{aire}}} \Delta T$$

Se tiene:

Tabla 27.- Cálculo de energía requerida para calentar el aire del cilindro.

Qcal aire	7653.91	J
m aire	0.30	Kg
cp aire	1016	J/kg K
ΔT	25	K

Fuente: Propia

c) Calor para evaporar el agua.

Para establecer el calor requerido para evaporar el agua primero se determinó la cantidad de agua que se debe evaporara establecido por la diferencia de humedad que debe tener la pulpa de café.

$$m_{agua} = \frac{PC(H_i - H_f)}{100 - H_f}$$

Dónde:

m agua : Cantidad de agua que contiene de la pulpa de café

PC : Cantidad total de la pulpa de café húmedo

Hpc-i : Humedad inicial de la pulpa de café

Hpc-f : Humedad final de la pulpa de café

La masa de agua se calcula:

Tabla 28.- Masa de agua para el secado de la pulpa de café

m agua	41.04	kg
PC	55.56	kg
Hpc-i	77%	
Hpc-f	12%	

Fuente: Propia

El cálculo del calor requerido para evaporar el agua se determina por medio del calor latente del agua este es de 540 cal/g así que se debe cambiar a julios para tener las mismas unidades de energía.

$$Q_{\text{evaporacion}} = m_{\text{agua}} L$$

Dónde:

Q evaporación : Calor requerido para evaporar el agua

m agua : Masa de agua

L : Calor latente del agua

Se tiene:

Tabla 29.- Calor requerido para evaporar el agua.

Q evaporación	92718828.3	J
m agua	41.0376515	kg
L	540	cal/g
	2259360.00	J/kg

Fuente: Propia

d) Calor total.

Se determinara el calor total que se requiere en el secado, para esto se deben sumar las perdidas térmicas por las paredes con el calor requerido para calentar el aire del cilindro y el calor requerido para evaporar el agua, se puede ver que el calor que se pierde por las paredes se da en tasa de cambio de energía es decir en potencia por lo que para determinar la energía que se pierde en las paredes se debe determinar el tiempo de secado, en el anterior objetivo se estableció que el tiempo debe estar entre 1.8 y 1.9 horas utilizando el promedio de estos dos valores se utiliza 1.85 ya que con esto se consigue que la pulpa este a una humedad optima según el modelo matemático establecido.

Así se puede determinar para cada uno de los cálculos de energía térmica desarrollados:

Tabla 30.- Cálculo de potencia y energía requerida para el secado de la pulpa de café.

	Descripción	Tiempo de secado (h)	Energía (J)	Potencia (W)
Q paredes	Potencia total a través del cilindro y tapas	1.85	802872.76	120.55
Q cal aire	Calor para calentar el aire		7653.91	1.15
Q evaporacion	Calor para evaporar el agua		92718828.33	13921.75
Q total	Total		93529355.00	14043.45

Fuente: Propia

4.3.3 Cálculo del flujo de aire y selección del ventilador

Primero se determina el volumen del aire

$$V_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{total}}}{\rho \cdot c_{p\text{aire}} (T_{\text{int}} - T_i)}$$

Dónde:

Q total : Calor requerido para secar la pulpa de café

ρ : Densidad del aire a 50°C

cp aire : Calor específico del aire

T int : Temperatura del aire dentro del cilindro

Ti : Temperatura inicial


Todos estos valores ya se obtuvieron con anterioridad siendo la temperatura inicial a la que se encuentra el aire que es la ambiente determinada como 25°C, así se establece el volumen del aire como:

Tabla 31.- Volumen de aire requerido para el secado de la pulpa de café.

V aire	0.46	m ³ /s
	1644.30	m ³ /h
ρ	1.2	Kg/m ³
Ti	25	°C
	298	K
T int	50	°C
	323	K
cp aire	1016	J/kg K
Q total	13921.75	W

Fuente: Propia

Se realiza una preselección del ventilador CBD-2525 debido al flujo que se requiere del ventilador. Este tipo de ventiladores trabajan con temperaturas hasta de 60°C por lo que tendrá un funcionamiento normal aun con el aire a la temperatura establecida.

Características técnicas 

Modelo	Velocidad máxima (r/min)	Equivalencia Pulgadas	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m ³ /h)	Nivel sonoro dB(A)	Peso aprox. (Kg)
			220V	380V				
CBD-1919-4M 1/5	1476	7/7	1,75		0,15	1520	59	7
CBD-1919-6M 1/10	984	7/7	0,98		0,07	1230	53	7
CBD-2525-4M 1/2	1584	9/9	3,3		0,37	2800	66	13,2
CBD-2525-4M 3/4	1572	9/9	4,5		0,55	3600	70	14
CBD-2525-6M 1/5	1020	9/9	1,5		0,15	2200	60	11,5
CBD-2525-6M 1/3	996	9/9	2,4		0,25	2700	62	12,7

Figura 8.- Porción del catálogo donde se muestra el flujo del ventilador seleccionado.
Fuente: Catalogo SODECA.

Después se establece la pérdida por fricción para determinar la altura total que requerirá el ventilador. Se establece el diámetro de diseño de 8 pulgadas, estableciendo el diámetro y el caudal que se requerirá del aire, en el aire se puede calcular la velocidad del aire, con lo que se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V D \rho}{\mu}$$

Dónde:

V : Velocidad en m/s

D : Diámetro de la tubería en m

ρ : Densidad del aire a la temperatura de trabajo 50°C

μ : Viscosidad dinámica del aire

Se tiene un número de Reynolds para el diámetro establecido:

Tabla 32.- Numero de Reynolds para diámetro seleccionado con densidad del aire a 50°C.

Re	2E+05	
V	25.0391	m/s
D	0.1524	m
μ	0.0000186	Ns/m ³
ρ	1.2	Kg/m ³

Fuente: Propia

Esto establece el flujo del aire como turbulento ya que se encuentra entre los siguientes valores:

Tabla 33.- Intervalos para el numero de Reynolds.

Re < 2300	El flujo sigue un comportamiento laminar.
2300 < Re < 4000	Zona de transición de laminar a turbulento.
Re > 4000	El fluido es turbulento.

Fuente: (Mataix, 2001)

Al establecer el flujo como turbulento se debe calcular las perdidas por fricción con la siguiente formula:

$$h_{primarias} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

h primarias : Pérdidas primarias por rozamiento en las tuberías

V : Velocidad del flujo

D : Diámetro de la tubería

g : Gravedad

L : Longitud de la tubería

f : Coeficiente de fricción

Para determinar el coeficiente de fricción se establece la aspereza relativa:

$$Ar = \frac{e}{D}$$

Siendo:

Ar : Aspereza relativa

e : Coeficiente de rugosidad absoluta (0.05 m para el hierro)

D : Diámetro del conducto

Se calcula la aspereza relativa:

Tabla 34.- Aspereza relativa para el tubo hierro.

Ar	0.0003	
D	0.1524	m
e	0.05	mm

Fuente: Propia

Llevando el número de Reynolds y la aspereza relativa al diagrama de Mooby se tiene halla el factor de fricción f.

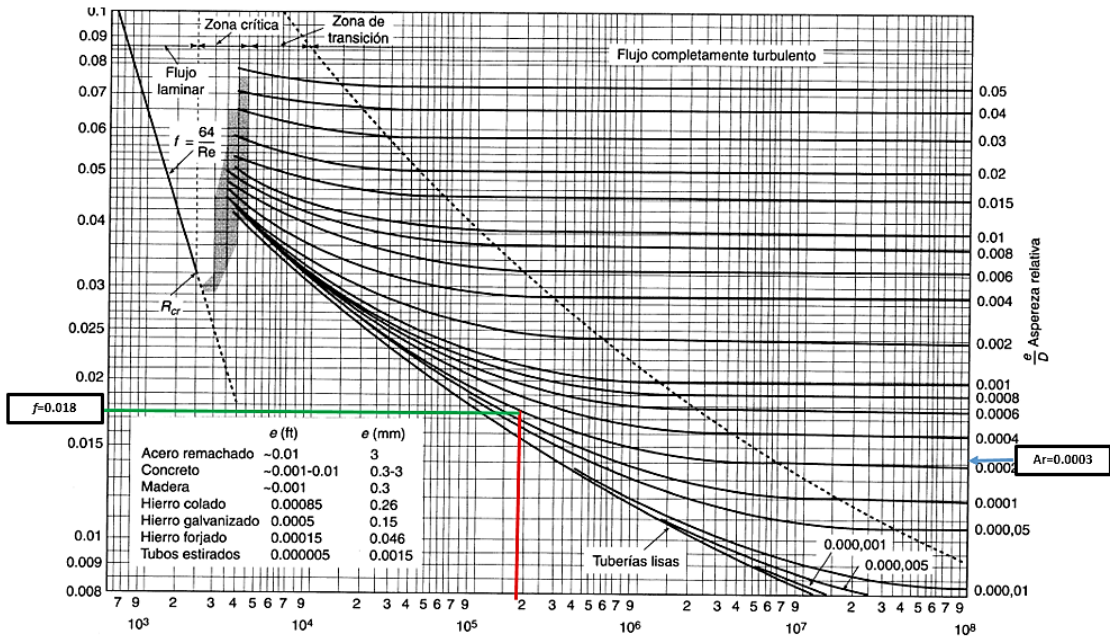


Figura 9.- Diagrama de Mooby para determinar el factor de fricción. Fuente: Propia

Como se observa en la figura 9 el factor de fricción es de 0.018 así se determina las pérdidas primarias:

Tabla 35.- Pérdidas primarias para la tubería del secador.

H primarias	1.8661	m
f	0.0178	
L	0.5	m
D	0.1524	m
V	25.04	m/s
g	9.81	m/s ²

Fuente: Propia

Para las pérdidas secundarias se utilizó la ecuación:

$$h_{sec} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Debido a que no existen accesorios solo se tomó el acople de la unión del ventilador que tiene una sección cuadrada y la unión con la tubería que es redonda

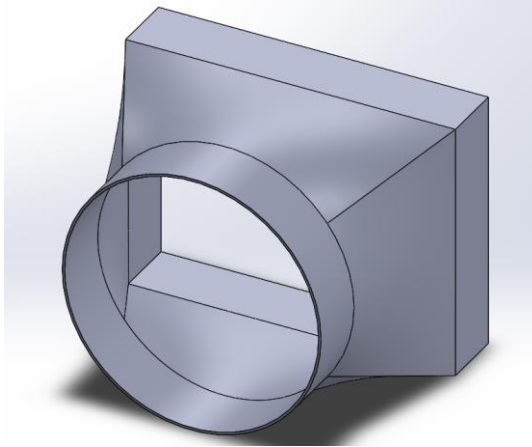


Figura 10.- Acople de ventilador a tubería. Fuente: Propia

Debido a que la sección cuadrada es de mayor tamaño que la redonda se opta por tomarla como una reducción así se determina el factor de pérdidas secundarias de acuerdo a:

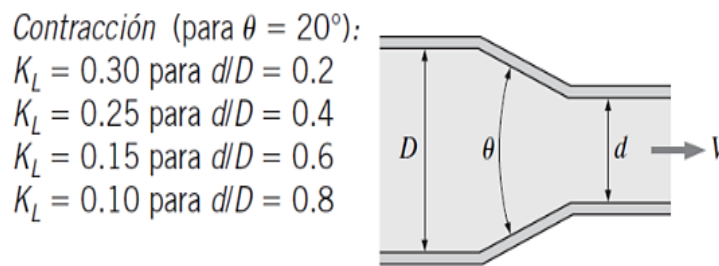


Figura 11.- Coeficientes de perdidas secundarias para reducción. Fuente: (Cengel , y otros, 2006)

Debido a que el cálculo es sobre diámetros se utiliza el diámetro hidráulico de la sección rectangular por lo que se tiene:

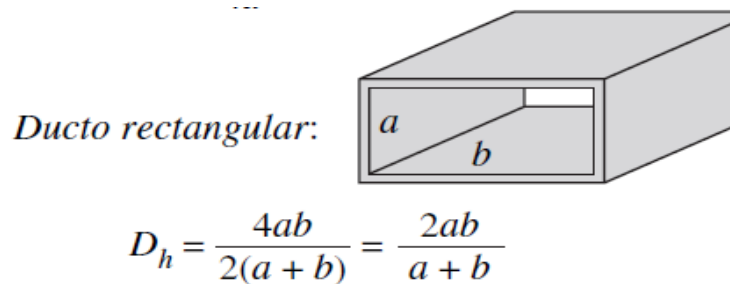


Figura 12.- Diámetro hidráulico de sección cuadrada. Fuente: (Cengel , y otros, 2006)

Se tiene para el tamaño del ventilador determinado:

Tabla 36.- Diámetro hidráulico de la sección rectangular de salida del ventilador.

Dh	0.28	m
a	263	mm
	0.263	mm
b	300	mm
	0.3	mm

Fuente: Propia

Se establece la relación entre diámetros para determinar el factor K y se tiene:

Tabla 37.- Relación de diámetros para determinar el factor K.

d/Dh	0.54	
d	0.15	m

Fuente: Propia

Debido a que no existe una relación tan alta se utiliza la mayor que es para una relación de diámetros de 0.8 para la cual el factor K es de 0.01 así se calcula las pérdidas secundarias.

Tabla 38.- Pérdidas secundarias para el acople entre ventilador y tubería.

Cantidad	k	V	hSec
		m/s	m
1	0.1	25.0391	3.195500

Fuente: Propia

Se desprecian las pérdidas por altura debido a que la tubería es un tramo horizontal la diferencia entre alturas se desprecia y como el aire se toma a temperatura ambiente y el cilindro no está presurizado la diferencia de presiones también se obvia y la ecuación para el cálculo de altura total para el ventilador queda:

$$H_{total} = h_{primarias} + h_{sec} + \frac{v_t^2}{2g}$$

Se tiene la altura total requerido por el sistema:

Tabla 39.- Altura total requerida por el sistema.

H tot	37.017	m
Vt	25.0391	m/s
g	9.81	m/s ²
h primarias	1.866	m
h secu	3.196	m

Fuente: Propia

Considerando la curva del ventilador seleccionado:

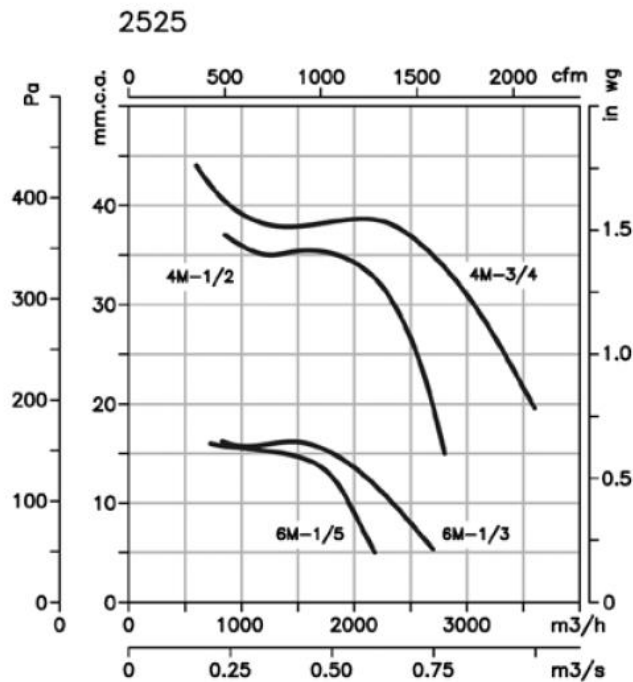


Figura 13.- Curvas del ventilador 1919 de presión vs caudal. Fuente: Propia

Como se aprecia solo el ventilador modelo 4M-1/2 logra superar la altura requerida cubriendo la demanda de caudal. Si se selecciona diámetros menores a 6 pulgadas las alturas para el caudal requerido llegan a 192.12 m (con el diámetro de 4 pulgadas que es el siguiente más próximo) por lo que se determinó el diámetro de 6 pulgadas luego de realizar las interacciones respectivas.

4.3.4 Dimensionamiento del horno.

El horno se determinará de forma que pueda suministrar el aire caliente de manera directa estableciéndose una estructura hueca por abajo donde estarán los quemadores. El único requerimiento para las medidas será que sean lo más cercanas posibles entre sí.

Las dimensiones del horno se establecen considerando el aire que debe tener cada segundo así con el flujo de aire se determina en un segundo cuanto volumen debe tener el horno.

Tabla 40.- Volumen requerido en el horno cada segundo.

V horno	0.46	m ³
V aire	1644.30	m ³ /h
	0.46	m ³ /s
t	1	s

Fuente: Propia

Es lógico que este sea el volumen del horno debido a que la energía suministrada y requerida por el aire es por cada segundo de funcionamiento así considerando el horno lo más simétrico posible se suponen las medidas de ancho y largo iguales y se realiza iteraciones para determinar cuál conjunto de medidas son la más cercanas entre sí:

Tabla 41.- Iteraciones de largo y ancho del horno.

Largo	Ancho	Alto
0.6	0.60	1.27
0.7	0.70	0.93
0.8	0.80	0.71
0.9	0.90	0.56
1	1.00	0.46
1.1	1.10	0.38
1.2	1.20	0.32
1.3	1.30	0.27

Fuente: Propia

Así se tendrá como medida del horno:

Tabla 42.- Medidas que debe tener el horno.

Alto	0.7	m
Ancho	0.7	m
Largo	0.93	m

Fuente: Propia

El calor entregado por el horno se determinará por la eficiencia del horno para hornos la eficiencia se establece como 60% (Vivas Carmona, y otros, 2007 pág. 116).

Así el calor con que debe establecer el horno es de:

Tabla 43.- Calor que debe generar el horno.

Q horno	23405.74	W
Q horno	155882258.33	J
Q total	14043.45	W
Q total	93529355.00	J
n	60%	

Fuente: Propia

La cantidad de quemadores se establecerá por la capacidad de cada quemador de entregar energía utilizando.

$$N_{quemadores} = \frac{Q_{horno}}{Q_{quem}}$$

Considerando los quemadores redondos industriales.

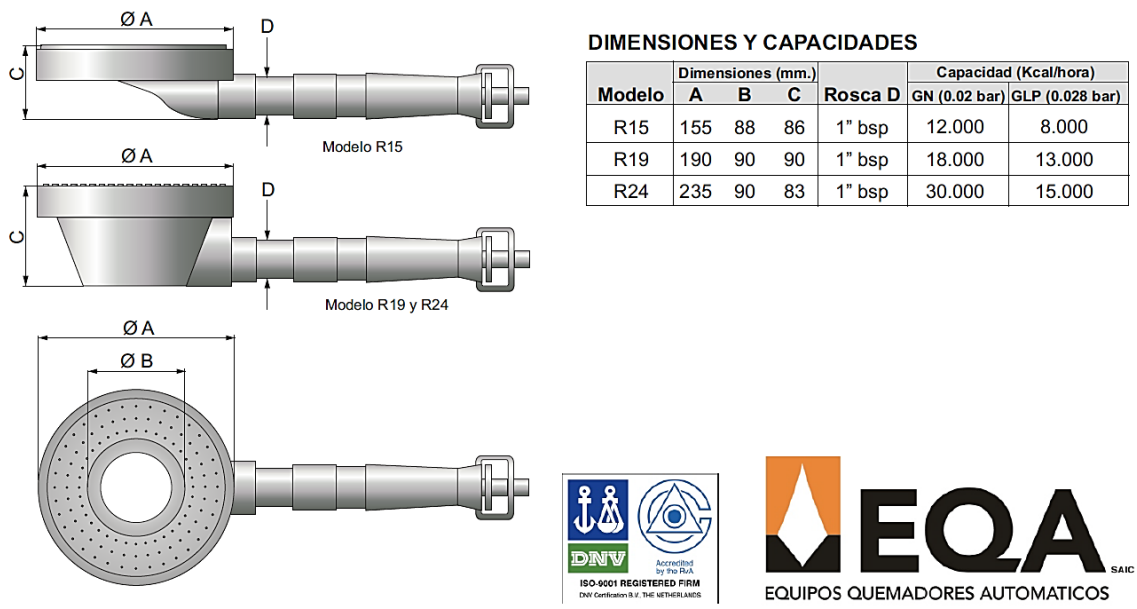


Figura 14.- Quemadores redondos. Fuente: Ficha Técnica EQA

Para cada quemador se tiene:

Tabla 44.- Cantidad de quemadores para cada tipo de quemador redondo.

Combustible	Quemador	Capacidad (Kcal/h)	N quemadores
GN	R15	12000	1.68
	R19	18000	1.12
	R24	30000	0.67
GLP	R15	8000	2.52
	R19	13000	1.55
	R24	15000	1.34

Fuente: Propia

Se utiliza la mayor cantidad para que al generarse una falla en uno de ellos no afecta en gran medida al funcionamiento del horno y además como no se puede colocar quemadores fraccionados se colocaran enteros a su cantidad superior más próxima así se selecciona los quemadores redondos para GLP R15, se requerirán 3 quemadores.

4.3.5 Cálculo del motor

Para determinar el cálculo de motor se deberán determinar la potencia que requerirá el eje del rotor, se propone como se ve en a la siguiente figura:

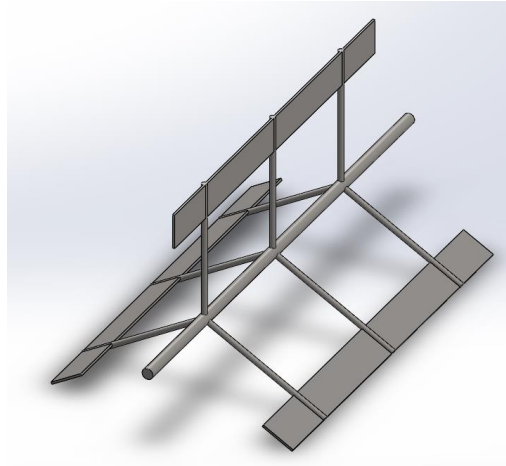


Figura 15.- Rotor propuesto para el secador de pulpa de café. Fuente: Propia

Se determina la fuerza que genera el peso de la pulpa esto se hace mediante la masa y la gravedad:

$$F_{PC} = V_{PC} \rho_p g$$

Dónde

- F_{pc} : Fuerza por el peso de la pulpa de café
- V_{pc} : Volumen de la pulpa de café
- ρ_p : Densidad de la pulpa de café
- g : Gravedad

Con lo que se tiene:

Tabla 45.- Peso de la pulpa de café.

F _{pc}	592.53	N
V _{pc}	0.13	m ³
ρ _{pc}	442.50	kg/m ³

Fuente: Propia

Se define el peso de las palas considerando su volumen y la densidad del mismo y la cantidad de palas que tiene el rotor, el volumen se determina de la siguiente manera.

$$V_p = l_p a_p e_p$$

Tabla 46.- Volumen de cada pala con medidas propuestas.

Vp	0.00128	m ³
lp	0.8	m
ap	0.8	m
ep	0.002	m

Fuente: Propia

La fuerza del conjunto de palas se define por:

$$F_{palas} = V_{palas} \rho_{acero} N_{palas} g$$

Se tiene:

Tabla 47.- Fuerza de las palas.

F palas	423.56	N
V palas	0.00183738	m ³
N palas	3	
ρ acero	7833	kg/m ³

Fuente: Propia

Para determinar la fuerza del eje se establece el volumen del eje del rotor con el diámetro que se propuso desde el diseño del cilindro y se toma la longitud del cilindro más 0.2 m que serán para poder colocar las chumaceras y la cadena.

$$V_{eje} = \pi r_{eje}^2 l_{eje}$$

Se tiene:

Tabla 48.- Volumen del eje del rotor.

V eje	0.00055738	m ³
D eje	0.0254	m
l eje	1.1	m
r eje	0.0127	m

Fuente: Propia

La fuerza del eje se establece igual con el volumen y la densidad del acero:

$$F_{eje} = V_{eje} \rho_{acero} g$$

Se tiene:

Tabla 49.- Fuerza que se genera por el eje.

F eje	0.05	N
V eje	0.00055738	m ³
ρ acero	10	kg/m ³

Fuente: Propia

También se determina los pesos de los soportes que sujetan las palas estos se determinaron de 0.5 pulgadas y la longitud será el radio del cilindro ya que las palas deben ir al final del cilindro para poder mover toda la pulpa de café así que el volumen de cada soporte será:

$$V_{soporte} = \pi r_{soporte}^2 l_{soporte}$$

Se tiene:

Tabla 50.- Cálculo del volumen de cada soporte.

V soporte	0.0000389	m ³
D soporte	0.013	m
l soporte	0.307	m
r soporte	0.006	m

Fuente: Propia

Se determina la fuerza que requiere mover los soportes:

$$F_{soporte} = V_{soporte} \rho_{acero} N_{soportes} g$$

Con lo que la fuerza para mover los soportes es:

Tabla 51.- Fuerza requerida para mover los soportes.

F soportes	26.94	N
V soportes	0.0000389	m ³
N soportes	9	
ρ_{acero}	7833	kg/m ³

Fuente: Propia.

La fuerza que requiere mover el motor será la suma de las fuerzas calculadas.

$$F_{tot} = F_{palas} + F_{eje} + F_{pc} + F_{soporte}$$

Dónde:

Tabla 52.- Fuerza total que se genera por el rotor.

F tot	995.58	N
F palas	423.56	N
F eje	0.05	N
F pc	545.03	N
F soportes	26.94	N

Fuente: Propia

El torque se establece con el radio del cilindro siendo el torque requerido por la máquina de:

Tabla 53.- Torque requerido por la máquina.

T	326.01	Nm
F tot	995.58	N
r	0.33	m

Fuente: Propia

El secador debe tener una velocidad de 30 rpm para el moto reductor y de 6 rpm para el rotor (Vivas Carmona, y otros, 2007).

$$Pot_{eje} = T\omega$$

Por lo que la potencia del eje será:

Tabla 54.- Potencia en el eje según las fuerzas que se requiere mover.

Pot eje	1956.07	W
T	326.01	N
w	6.00	rpm

Fuente: Propia

La transmisión que se utilizará será de cadena debido a su alta eficiencia para la transmisión de potencia por cadena la eficiencia llega al 0.96, con lo que la potencia en el eje del motor será de:

Tabla 55.- Potencia en el eje del motor.

Pot eje motor	2037.57084	W
n cadena	0.96	
Pot eje	1956.07	W

Fuente: Propia

La eficiencia en un motor eléctrico de la potencia eléctrica a la potencia del eje es del 87.4% aproximadamente por lo que se tiene:

Tabla 56.- Potencia que se requiere del motor.

Pot eléctrica	2342.04	W
n motor	0.87	
Pot eje motor	2037.57	W

Fuente: Propia

La potencia de 2037.57 W equivale a 2.7 hp por lo que la potencia transformada elegida es de 3 hp.

4.4 Diseñar un secador piloto

En este objetivo se diseñó un prototipo del secador para 5 kg de pulpa de café, realizándose los cálculos de la misma manera que en los objetivos para el secador de tamaño normal se determinó un secador que se detalla en el anexo.

Con este secador se estableció la siguiente metodología, para las pruebas, basándonos en el artículo científico de secado de Pulpa de Café escrito por Torres, Martínez, Jiménez y Hernández y publicado en la revista Información Tecnológica, se estableció los intervalos de mediciones de la humedad en este caso por la capacidad reducida se estableció un periodo de 10 minutos.

Tabla 57.- Pruebas para el secado de cascara de café con el secador piloto.

Tiempo	Pruebas
00:00	1
00:10	2
00:20	3
00:30	4
00:40	5
00:50	6
01:00	7
01:10	8
01:20	9
01:30	10
01:40	11
01:50	12
02:00	13
02:10	14

Fuente: Propia

Se tomaron 14 medidas de humedad, también mediante un termómetro digital se monitoreo la temperatura dentro del cilindro regulando la temperatura controlando el caudal de salida del aire al abrir total o parcialmente la tapa de la tolva para que escape el aire en los momentos

que se medía, así se controló que se mantenga al margen la temperatura teniendo las siguientes medidas.

Tabla 58.- Medidas de temperatura para prueba con el secador piloto.

Pruebas	Temperatura en el cilindro °c
1	40.5
2	54.5
3	46.5
4	51.5
5	43.0
6	54.5
7	53.5
8	38.0
9	39.0
10	44.5
11	54.0
12	41.0
13	51.0
14	41.0

Fuente: Propia

El caudal de aire también fue una variable que se controló ya que el ventilador que se usó tenía esta especificación por lo que se tomó como un equipo ideal para realizar las pruebas, durante el proceso de pruebas el caudal se midió con un caudalímetro de esta manera se generó también medidas para cada muestra, esto se realizó con la finalidad que el trabajo del secador sea contante y con variables fijas en todo lo posible.

Tabla 59.- Flujo ingresado por prueba en el secador piloto.

Pruebas	Flujo ingresado (m ³ /s)
1	0.034
2	0.034
3	0.035
4	0.032
5	0.031
6	0.036
7	0.032

8	0.032
9	0.028
10	0.034
11	0.036
12	0.033
13	0.034
14	0.035

Fuente: Propia

Las medidas de humedad se realizador con un Higrómetro, para determinar la humedad de la cascara de café. Así se estableció las medidas de humedad durante todas las pruebas, teniendo la siguiente evolución:

Tabla 60.- Medidas de humedad para las 14 pruebas realizadas.

Tiempo	Pruebas	Humedad de la pulpa
00:00	1	75.00%
00:10	2	70.03%
00:20	3	65.27%
00:30	4	54.34%
00:40	5	43.75%
00:50	6	43.75%
01:00	7	33.46%
01:10	8	31.90%
01:20	9	27.07%
01:30	10	15.91%
01:40	11	15.37%
01:50	12	14.38%
02:00	13	14.88%
02:10	14	8.81%

Fuente: Propia.

Se puede apreciar de forma visual la siguiente gráfica:

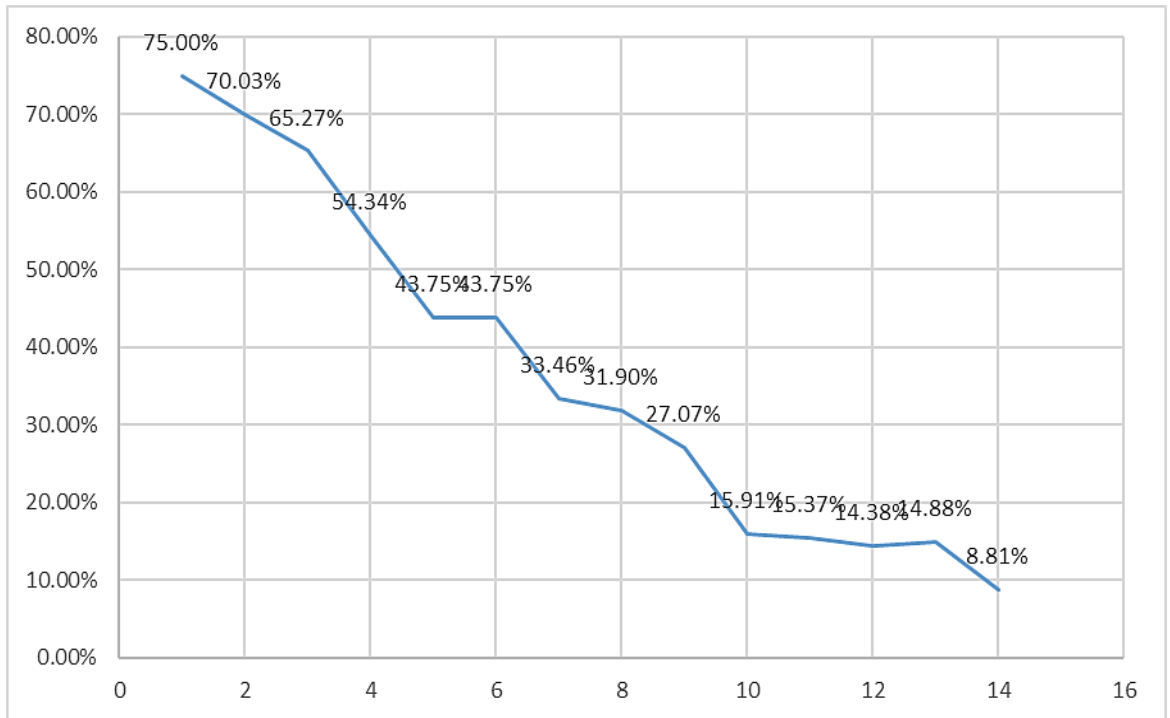


Figura 16.- Evolución de la humedad debido en el secador piloto. Fuente: Propia

Con la ayuda del programa Excel se puede determinar una curva de tendencia, teniendo:

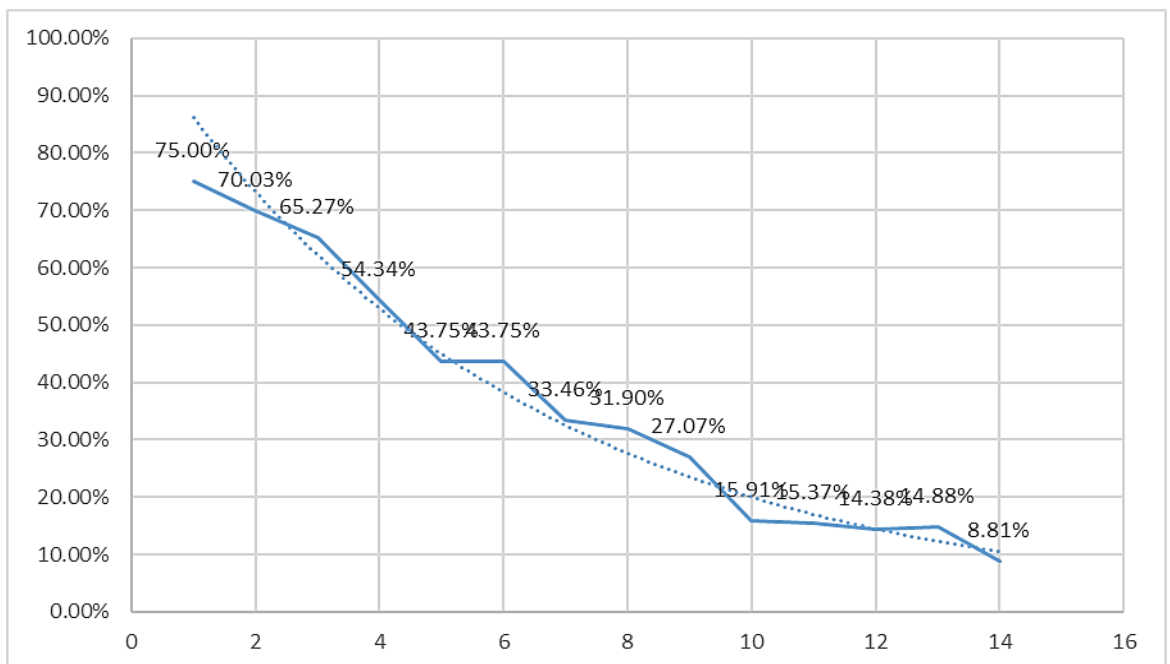


Figura 17.- Línea de tendencia para la evolución de humedad durante el secado. Fuente: Propia

También mediante el mismo software se desarrolla una ecuación para dicha línea que evidencia el comportamiento de la humedad durante el proceso de secado.

$$y = 1.0134e^{-0.162x}$$

Dónde

Y : Humedad del grano

X : Tiempo de secado

Como se puede apreciar dicha ecuación tiene similitud con la modelación matemática con la cual se determina en primera instancia el tiempo de secado por lo que se podría concluir que el diseño y selección del tiempo de secado está definido correctamente ya que el piloto funciona de acuerdo a los cálculos establecidos. Ya que la pulpa de café se pudo secar en un intervalo de 1.85 llegando a 13.87% en el secador piloto, aunque este cálculo no se muestra en la tabla se realizó aparte para cerciorarse cuanto es la humedad en ese tiempo.

V. DISCUSIÓN

La investigación que aquí se presenta tuvo como objetivo diseñar un secador de cascara de café (o pulpa de café como se le conoce en la zona donde se realizó la investigación) para que pueda ser utilizado en actividades industriales en la Finca El Parcos, esto actualmente no se realiza debido a que no se puede realizar el secado por las características de la cascara de café y las condiciones climatológicas en la zona es decir no existe la suficiente radiación para logra el secado antes que la pulpa de café se empiece a fermentar, además la finca no produce suficiente cascara o pulpa de café por lo que comprar una maquina fabricada no sería rentable debido a que los volúmenes con los que trabajan son muchos mayores que los de la finca El Parcos.

La producción de café en la finca se da en 6 meses al año con lo que, durante esos seis meses se teniendo una producción de café de 195.80 quintales por temporada, de aquí se desprendió mediante calculo la cantidad de pulpa de café que se tiene como sub producto del pilado siendo 10 002.41 kg por temporada lo que hace un promedio de 1 667.06 kg de cascara de café por mes que se desecha debido a que no se cuenta con la maquinaria para secarlo. Se determinó la humedad que se debe retirar de la pulpa de café por medio de los requerimientos de la empresa para poder procesarlo la pulpa de café ingresa en general a una humedad de 77% y se requiere que se tenga una humedad entre 15 y 12%, esto según el modelo matemático de Page se debería secar en un tiempo de 1.8 a 1.9 horas.

El secador que se presenta es un secador de cilindro estático el cual moverá la cascara de café por medio de un rotor, este tiene en sus extremos tres paletas sujetas por tres soportes cada una, el secador se dimensiono para el secado de la pulpa de manera diaria ya que el tiempo de secado será de 1.85 horas se podrá utilizar el resto del día para trabajar con la pulpa, la transmisión se determinó por medio de cadenas ya que tienen una mejor

eficiencia , el horno se estableció para que trabaje de manera directa con el fluido de secado, por medio de quemadores industriales se determinaron 3 de ellos del tipo redondos R15, el fluido será ingresado por un ventilador directamente desde el horno este se determinó sobre el horno debido a que podrá tomar el aire de manera progresiva mientras se va calentando ya que el ingreso de aire al horno es por debajo de él, la tubería de conducción es de 6 pulgadas de diámetro y de 0.5 metros de largo, el diámetro se estableció considerando las perdidas por rozamiento y accesorios (aunque solo se tomó la conexión del ventilador a la tubería como accesorio), si este diámetro se reduce a su siguiente diámetro comercial las perdida aumentan desmedidamente por lo que se determinó que esta tubería es la correcta. Por último, el cálculo del motor se determinó considerando las fuerzas que ejercen los pesos tanto del rotor compuesto por las palas, los soportes, el eje y la pulpa de café, este se calculó desde la rotación de 6 rpm debido a que los antecedentes proponen velocidades de esta índole para secadores de este tipo.

En el último objetivo se construyó un secador piloto este se estableció bajos los mismos cálculos que el secador real, y se realizó la prueba de secado, para esta prueba se realizaron 14 tomas de humedad determinándose que a partir de 1.8 horas la humedad en la pulpa de café estaba ya bajo los estándares que se requieren para ser comercializada, durante las mediciones de humedad se controló la temperatura mediante la apertura de la tapa del secador con un termómetro digital se tomó la temperatura, además se controló el caudal mediante un caudalímetro este se pudo regular gracias a que el equipo para generar caudal tenía la especificación de ser variable, controlando estas variables se midió la humedad en cada muestra, la experiencia determino que la humedad sigue el patrón matemático en el que se basó el cálculo del tiempo de secado, por lo que se puede determinar que el secador corresponde a los requerimientos que se piden.

Al igual que **Guimac y Mendoza (2014)** en su tesis “Estudio de Pre factibilidad para la instalación de una planta Procesadora de Café verde (coffea arábica) En la Localidad de Mashuyaco, Provincia de Rodríguez de

Mendoza, Región Amazonas” se puede determinar que el desarrollo de la agroindustria en el Perú sobre todo en la zonas más alejadas de las ciudades que es donde realmente se vive de la agricultura el desarrollo es reducido debido a que no existe la tecnología al alcance de estos pequeños agricultores lo que hace que existe un mercado de personas intermediarias que siempre saquen provecho del esfuerzo de los agricultores. La investigación al igual que el antecedente mencionado se busca generar conocimiento para que se puedan crear nuevos sistemas o tecnologías que permitan obtener productos de calidad y poder competir con empresas o productores más grandes.

A diferencia de **Camacho Fonseca (2015)** en su tesis “Diseño de un Secador para Café mediante el Calentamiento del aire en dos Etapas Utilizando Energía Solar” la investigación que aquí se presenta no tienen ninguna etapa de aprovechamiento del recurso solar, es mas a diferencia del antecedente es justamente la falta de este recurso el que impulsa a desarrollar la investigación, el secado por medio de combustión es la alternativa más oportuna para el Fundo El Parco por ser una entidad que se encuentra en una zona de bajo nivel de radiación. Aunque existe una característica que se comparte con la investigación de Camacho es que la humedad del café y el requerimiento de humedad del mismo para ingresar al proceso de pilado es igual que en el de la pulpa de café estas fluctúan de manera muy cercana al 15% y al 12%.

A diferencia de la investigación de **Palacios (2014)** “Secadoras solares tipo domo para café pergamino la Experiencia en Huehuetenango, Guatemala C.A.” la investigación que se presenta en este informe no pretende secar la cascara del café para evitar la germinación del grano, esto se debe a que la investigación de Palacios esa dirigida al café con cascara mientras que la investigación de este informe está dirigida a la cascara del café solamente. Una de las apreciaciones que se pueden rescatar de la investigación de Palacios es que los granos se pueden conservar un tiempo prolongado si tienen un cuidado adecuado, lo que podría apertura una ventana para investigar si la pulpa de café también puede tener estas características para

poder almacenarla hasta que se tenga una cantidad rentable para el proceso de secado y producción.

En concordancia con la investigación de **Henao (2015)** en su tesis “Estimación del procedimiento de secado de café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza” se tiene la misma consistencia en afirmar que el secado si es dado con la tecnología pertinente no cambia las características físicas ni químicas el producto, y que la temperatura de secado debe ser de 50°C, pero el flujo de aire si varia siendo para el antecedente de 300 m³/min, en cuanto a la pulpa de café si se considera que mantiene sus propiedades debido a que la empresa ya ha tenido producción con pulpa de café seca por lo que se considera que se debe aprovechar mientras se tenga seca.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que la finca tiene una producción de café de 195.80 quintales al año durante los 6 meses de campaña, lo define a 9006.8 kg al año de producción de café debido a que el 56.8% es pulpa de café que se obtiene del proceso de pilado del café cerezo lo que determina que se tiene 10 002.41 kg de cascara café al año esto establece un promedio de 1 667.06 kg de cascara de café mensuales.
- Se establece que la condición de secado es de llevar la humedad de 77% en la cascara de café que es como se encuentra cuando sale del pilado a 12%, según los modelos matemáticos revisados esto se debería dar en un tiempo de 1.8 a 1.9 horas aproximadamente.
- Se determinó un secador con cilindro fijo de 0.61 m de diámetro y 0.92 m de longitud llenado al 50% requerirá un flujo de aire de 0.46 m³/s, se establece también una tubería de 6 pulgadas para la conducción del aire al cilindro debido a que diámetros menores volverían las pérdidas energéticas demasiado altas para cubrirlas con el ventilador, el horno se determinó de 0.7 x 0.7 x 0.93 m requiriéndose 3 quemadores industriales redondos del tipo R15 por último se determinó un motor de 3 hp para poder mover el rotor compuesto por tres paletas y con transmisión por cadena.
- Se concluyó que el diseño es adecuado debido a que el prototipo fabricado en proporción a 5 kg de pulpa de café determina el tiempo de secado en 1.5 horas.

VII. RECOMENDACIONES

Que, de acuerdo con las conclusiones del presente trabajo de investigación, se recomienda que en futuras investigaciones se tome en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda establecer criterios de almacenaje que permitan tener mayor pulpa para el secado.
- Se recomienda controlar los tiempos de secado para poder comparar con los modelos matemáticos y poder determinar las mejoras en la máquina.
- También es necesario Incluir equipos de medición tanto sea viable económicamente.
- Realizar más mediciones para afinar la ecuación de la curva generada.

REFERENCIAS

Alberto, Espinoza Martínez Vladimir. 2018. *Diseño, construcción y caracterización de secador de granos de café, utilizando la energía térmica contenida en fluidos geotérmicos.* Ingeniería y Arquitectura , Universidad de el Salvador . El Salvador : s.n., 2018. pág. 253, Tesis .

Anthony, Chavarrita Catrejon Roly. 2018. *Diseño de una máquina desmucilagadora automatizada para café con capacidad de 500kg/h.* Ingeniería Arquitectura y Urbanismo , Universidad Señor de Sipán . Pimentel : s.n., 2018. pág. 218 , Tesis .

Camacho Fonseca, Stanley. 2015. *Diseño de un secador para café mediante el calentamiento del aire etapas utilizando energía solar.* Escuela de Ingeniería Mecánica , Universidad de Costa Rica. Santa María de Dota : s.n., 2015. pág. 146, Trabajo final de graduación .

Camilo, Moreno Amaya Daniel. 2015. *Construcción de un prototipo secador rotativo automatizado para café.* Ingeniería , Universidad Católica de Colombia . Colombia : s.n., 2015. pág. 148 , Trabajo de Investigación Tecnológica .

Caranqui, Mora. 2015. *Diseño de un secador rotatorio.* Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción , Escuela Superior Politécnica del Litoral . Guayaquil : s.n., 2015. pág. 114, Tesis final para graduación.

Cesar, Cubas Arbildo Julio. 2018. *Diseño de un secador rotativo de 1.5 Ton. para deshidratar semillas de café en la zona norte del Perú.* Ingeniería , Universidad César Vallejo. Chiclayo : s.n., 2018. pág. 130, Tesis .

Dynamic modeling of coffee beans dryer. **Christian Zuluaga-Bedoya, Lina M. Gomez. 2015.** Colombia : IEEE, 14 de October de 2015, 2015 IEEE 2nd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC), pág. 187.

—. **Zuluaga-Bedoya, Christian. 2015.** Medellín : IEEE, 14 de October de 2015, 2nd Colombian Conference on Automatic Control, pág. 187 .

Jesús, Vera Bermeo Víctor de. 2015. *Diseño de dos prototipos para el secado de café para el noroccidente de pichincha.* Ingeniería Mecánica , Escuela Politécnica Nacional . Quito : s.n., 2015. pág. 293 , Tesis .

Johana, Gonzáles Sánchez Ingrid. 2014. *DISEÑO Y PROTOTIPO DE SECADOR DE CAFÉ EXCELSO AUTOMATIZADO.* Tecnología e Ingeniería Mecatrónica , Universidad Tecnológica de Pereira . Pereira : s.n., 2014. pág. 31 , Proyecto de Grado .

Jordi, Besora Magem. 2017 . *Secador Solar de Café. Secador Solar de Café.* Cajamarca : Economía Solidaria y Sostenibilidad Ambiental, 2017 , pág. 30 .

Juliana, Henao Arismendy. 2015. *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza.* Ciencias Agrarias , Universidad Nacional de Colombia . Medellín : s.n., 2015. pág. 100, Trabajo de Grado de Mestría .

Mamani Villavicencio, José Santos. 2015. *Determinación comparativa de tiempos de secado de café, en dos tipos de secadores solares en el Valle de Sandía-Puno.* Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano. Puno : s.n., 2015. pág. 81, Tesis.

Mamani Villavicencio, José Santos. 2015. *Determinación comparativa de tiempo de secado de café en dos tipos de secadoras Vall e Sandía-Puno.* Puno : s.n., 2015. pág. 81, Tesis .

Méndez, Yender. 2014. *Diseño y construcción de un prototipo de una secadora de café en el sector Ahoga Mula, Estado portuguesa.* Ingeniería , Universidad Nacional Experimental Politécnica de las Fuerzas Armadas . Guanare : s.n., 2014. pág. 51 , Proyecto de Tesis .

Natalia, González González María. 2015. *Diseño, construcción y puesta en marcha de un secador tipo Batch de Lecho Fluidizado para el Laboratorio de operaciones unitarias.* Ciencias Naturales y Matemáticas , Escuela Superior Politécnica del Litoral . Guayaquil : s.n., 2015. pág. 121, Proyecto de Graduación .

Optimization of Coffee Bean Drying Using Hybrid. **Devita Ayu Larasati, Ike Fibriani, Dedy Wahyu Herdiyanto. 2018.** Indonesia : s.n., 2 de October de 2018, ICECOS, pág. 32.

Larasati, Devita Ayu. 2018. Indonesia : IEEE, 2 de October de 2018, International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, pág. 58.

Oscar, Ramirez Hernández. 2015. *Diseño de un secador para café mediante el calentamiento del aire en dos etapas utilizando energía solar.* Ingeniería , Universidad de Costa Rica . Costa Rica : s.n., 2015. pág. 146, Proyecto de Tesis .

Pablo, Parra Rosero. 2017. *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente.* Ingeniería , Universidad de Piura . Piura : s.n., 2017. pág. 233, Tesis para grado de Doctor en Ingeniería .

Ramírez Hernández, Oscar. 2015. *Diseño de un secador para café mediante el calentamiento del aire en dos etapas utilizando energía solar.* Escuela de Ingeniería Mecánica , Universidad de Costa Rica . Santa maría de Dota : s.n., 2015. pág. 146, Trabajo final de graduación .

SANTOS, MAMANI VILLAVICENCIO JOSÉ. 2015. DETERMINACIÓN COMPARATIVA DE TIEMPO DE SECADO DE CAFÉ EN DOS TIPOS DE SECADORES SOLARES. Ingeniería Agraria , Universidad Nacional del Altiplano . Puno : Ingeniería y tecnología, 2015. pág. 81, Tesis .

Taguchi Analysis for Quality Stabilization of Coffee Roast. **Wen-Keng Tseng, King-Chu Hung. 2017.** Taiwan : IEEE, 13 de May de 2017, International Conference on Applied System Innovation , pág. 247.

Yorlenny, Soto Rodríguez. 2015. Asesoría en gestión de innovación para una PYME en el diseño, construcción y plan de negocio de prototipo de equipo con tecnología solar para el secado del grano de café. Innovación Tecnológica, Universidad Nacional Sistema de Estudios de Posgrado . Costa Rica : s.n., 2015. pág. 168, Maestría .

ANEXO N° 03: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Escala de medición
INDEPENDIENTE Diseño del secador	Conjunto de mecanismos que permiten reducir la humedad del grano mediante la inyección de calor por un determinado tiempo de secado	Determinar las condiciones de la cascara de café. Determinar las dimensiones de producción Proponer un sistema de secado	Capacidad Flujo de calor Rango de temperatura Flujo másico Velocidad de giro	Kg Watts kelvin Kg/h Rpm
DEPENDIENTE Condiciones industriales	Características que determinan el grado de producción y proceso fuera del nivel artesanal	Determinar las condiciones de la cascara de café Determinar las condiciones de producción actuales	Rangos de humedad	%

ANEXO N° 4.- INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Ficha de registro para parámetros

Fecha	Producción	Finca	Humedad	Tiempo de secado	Personal utilizado	Costo de secado

FICHA DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

FECHA _____
DOCUMENTO _____
DATO BUSCADO _____

DATOS ENCONTRADO

ANEXO 05.- FICHAS TÉCNICAS



GRUPOS MOTRICES DE REDUCCION Tabla de potencias y torques de los Reductores VIS-SIN-FIN a 90° MODELO COMERCIAL

Hoja Técnica
1180



MODELO V.
Sin Fin inferior



MODELO VS.
Sin Fin Superior



MODELO RV.
Torna mesa

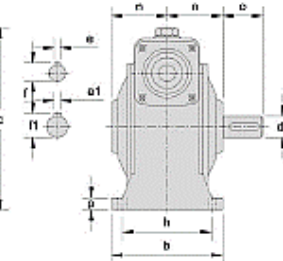
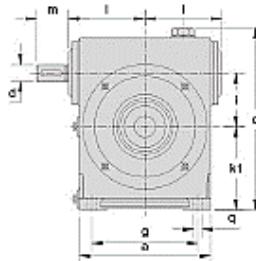
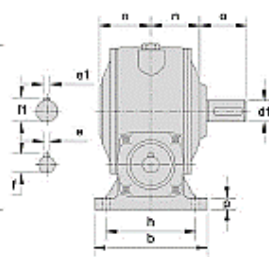
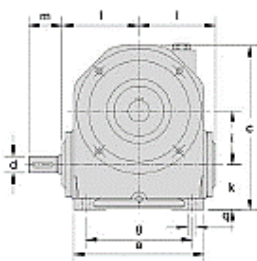
COEFICIENTES DE SERVICIO

Horas Trabajo	Carga uniforme	Carga variable	Carga con choque
3 - 4	0.8 - 1.0	1.0 - 1.2	1.5 - 1.8
8 - 10	1.0 - 1.2	1.2 - 1.4	1.8 - 2.1
24	1.2 - 1.4	1.5 - 1.8	2.0 - 2.4

Arranques hora	Coef.
5	1.0
25	1.2
100	1.4
500	1.6
1000	1.8

CARACTERÍSTICAS DE POTENCIA MÁXIMA (Factor servicio = 1)

relac. R=1		rpm salid.	Tamaño 45			Tamaño 60			Tamaño 80			Tamaño 90			Tamaño 102		
F	Real		Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm	Kw ₁	Cv ₁	Nm
7.5	7.3	239	1.5	2.0	48	2.5	3.3	87	3.4	4.5	119	4.3	5.8	156	7.3	9.9	255
10	10.3	169	0.7	1.0	33	2.2	3.0	103	2.8	3.8	137	4.1	5.5	191	6.0	8.1	302
12.5	12.3	142	0.7	0.9	34	1.8	2.4	96	2.8	3.8	161	3.8	5.2	209	5.6	7.6	333



Eje de salida a la derecha: TIPO D.
MODELO V.

Eje de salida a la derecha: TIPO D.
MODELO VS.

Tabla de dimensiones para los modelos V y VS.

Tamaño	a	b	c	d	e	f	d1	e1	f1	g	h	i	k	k1	l	m	n	o	p	q	Peso Kg
45	110	95	152	14	5	16.0	18	6	20.5	90	75	45	38	70	68	25	45	35	10	8	5.0
60	140	115	188	16	5	18.1	25	8	27.9	110	90	60	45	90	84	35	55	45	15	10	8.5
80	165	148	225	19	6	21.5	34	10	37.3	130	120	80	60	100	100	50	65	65	18	13	15
90	200	165	255	24	8	27.8	38	10	41.3	155	140	90	65	115	115	52	75	75	20	14	25
102	225	190	292	28	8	30.9	42	12	45.1	180	155	102	75	140	130	55	80	85	22	16	34

60Hz

CBD CBD 3V



CBD CBD 3V



Turbina de alta calidad y gran robustez, equilibrada dinámicamente según ISO-1940

CBD: Ventiladores centrífugos de doble aspiración con motor directo y turbina con álabes hacia delante

CBD 3V: Ventiladores centrífugos de doble aspiración con motor de 3 velocidades

Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia delante, en chapa de acero galvanizado
- Se suministra con pies soporte PSB

Motor:

- Motores cerrados con protector térmico incorporado, clase F, con rodamientos a bolas, protección IP54
- Monofásicos 220V. 60Hz, y trifásicos 380/660V. 60Hz 380/660V. 60Hz
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C.+ 60°C.

Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

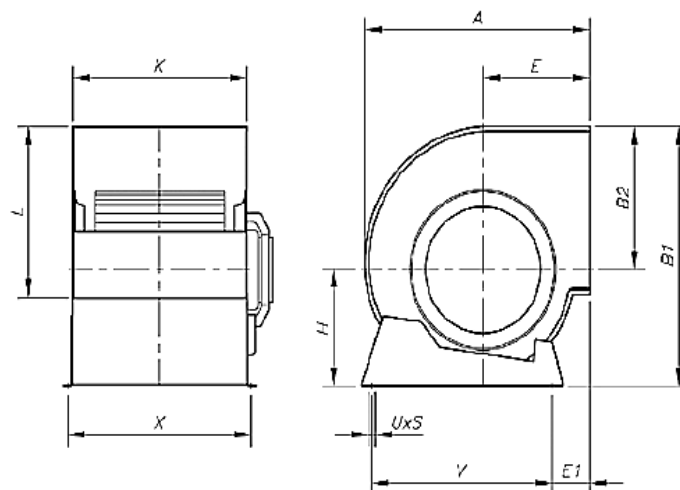
Características técnicas

60Hz

Modelo	Velocidad máxima (r/min)	Equivalencia Pulgadas	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel sonoro dB(A)	Peso aprox. (Kg)
			220V	380V				
CBD-1919-4M 1/5	1476	7/7	1,75		0,15	1520	59	7
CBD-1919-6M 1/10	984	7/7	0,98		0,07	1230	53	7
CBD-2525-4M 1/2	1584	9/9	3,3		0,37	2800	66	13,2
CBD-2525-4M 3/4	1572	9/9	4,5		0,55	3600	70	14
CBD-2525-6M 1/5	1020	9/9	1,5		0,15	2200	60	11,5
CBD-2525-6M 1/3	996	9/9	2,4		0,25	2700	62	12,7
CBD-2828-4M 1/2	1584	10/10	3,3		0,37	2800	65	15,7
CBD-2828-4M 3/4	1572	10/10	4,5		0,55	3950	70	16,5

Dimensiones mm

CBD- 1919...3333



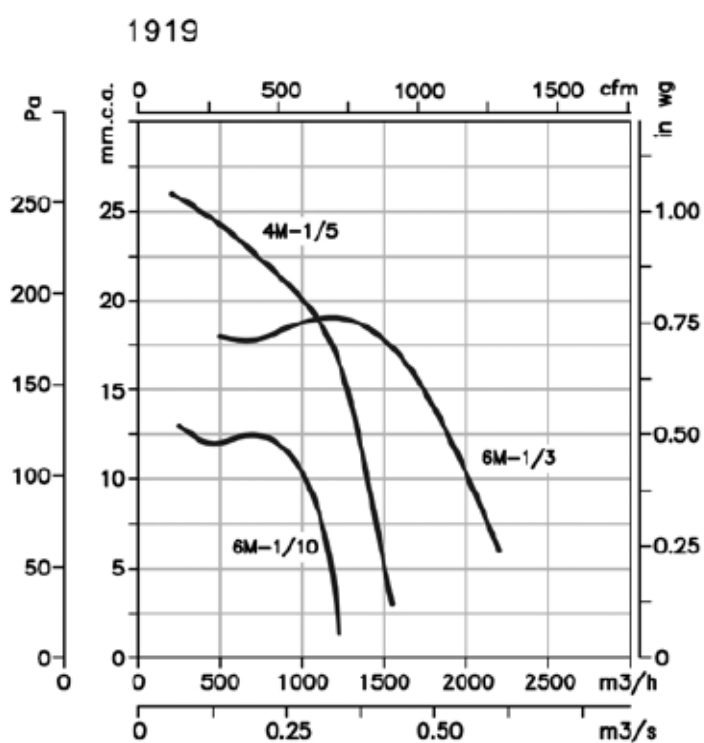
Modelo	Equiv. pulg.	A	B1	B2	E	E1	G	H	K	L	UxS	V	X	x1	x2
CBD-1919	7/7	315	333	189	152	64	-	144	230	208	9x13	225	258	-	-
CBD-2525	9/9	380	400	218	183	78	-	182	300	263	9x13	275	328	-	-
CBD-2828	10/10	422	450	246	202	73	-	204	326	292	9x17	315	355	-	-
CBD-3333	12/12	493	526	290	230	82	-	236	387	345	9x17	390	415	-	-
CBD-3939	15/15	553	632	348	265	-	30	-	473	404	9x17	406	500	533	406

Curvas Características

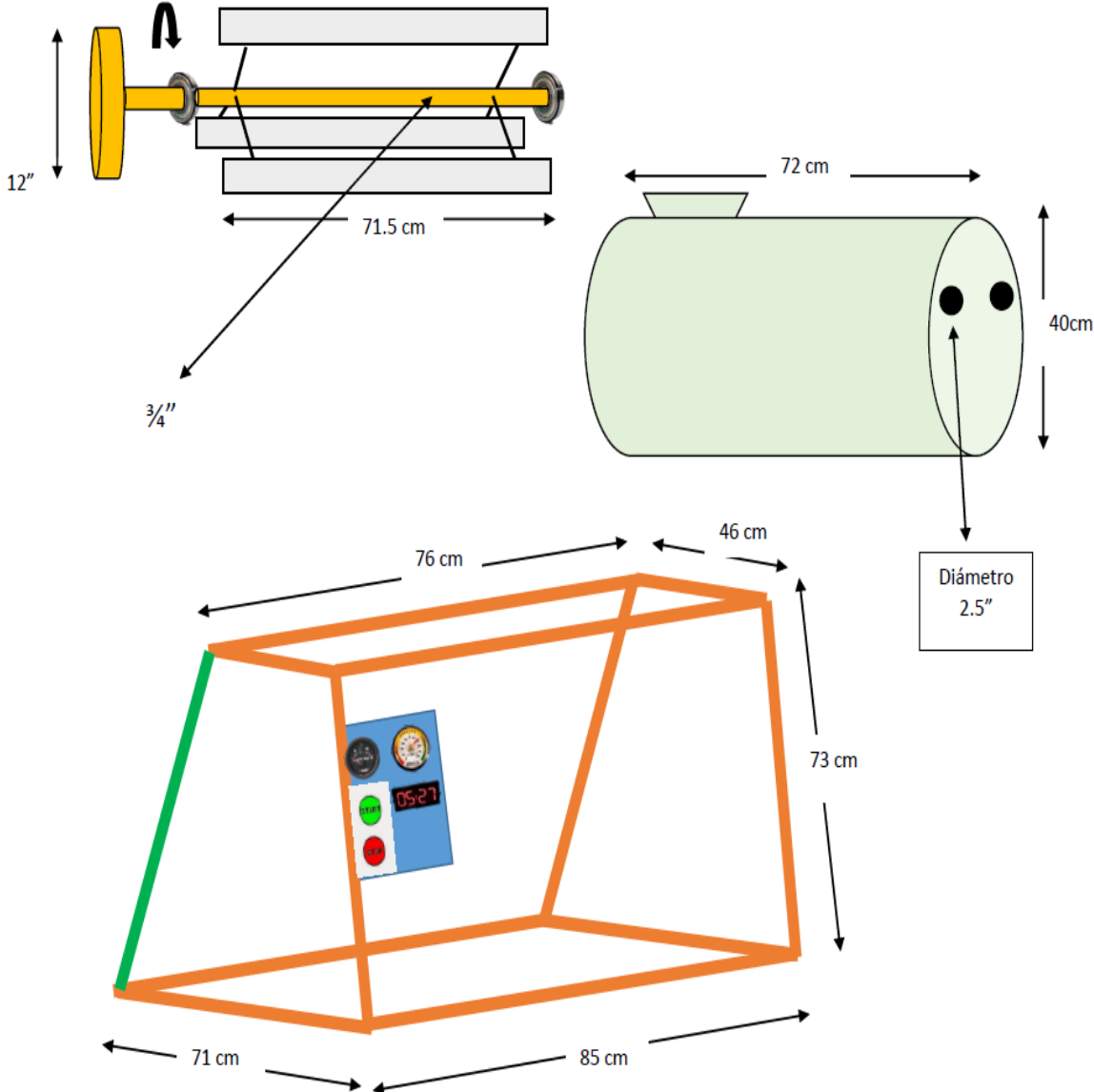
Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm.

Pe= Presión estática en mm.c.a., Pa e inwg.

CBD



ANEXO 06.- SECADOR PILOTO



- **Cilindro** 72Cm de largo y 40 Cm de diámetro de plancha inoxidable.
- **Motor eléctrico** de 1 hp monofásico 1700 rpm
- **Polea** del motor eléctrico 2 ½ “
- **El rotor** cuenta con 3 paletas para mover el material cada paleta tiene 18,5 desde el eje x 71.5 de largo
- **Polea del rotor** 12 “
- **Ventilador** eléctrico y resistencias eléctricas 1500 w

- **2 rodamientos** de 2 ¾ x 1 ½ “
- **Faja de arrastre** en v 72 cm
- **medidor** de temperatura
- **medidor** de humedad
- **Llave termo magnética** de arranque y parada
- cronometro
- **estructura de soporte (Angulo de 25 x 2.5 mm)** 73 cm de alto, 46 cm de ancho y 76 cm de largo en la parte superior 71 cm de ancho y 85 cm de largo en la base

	EQUIPOS/COMPONENTES	COSTO
1	MOTOR ELECTRICO MONOFASICO 1 HP 1700 RPM	S/450.00
3	ANGULOS DE 25 X 2.5 mm	S/120.00
2	RODAJES	S/110.00
1	KG DE ELECTRODOS PARA SOLDADURA	S/20.00
1	PLANCHA DE ACERO GALVANIZADO DE 2.5 mm	S/450.00
1	POLEA PARA MOTOR ELECTRICO	S/20.00
1	FAJA DE ARRASTRE	S/50.00
1	POLEA PARA ROTOR	S/100.00
1	SENSOR DE TEMPERATURA	S/100.00
1	HIGROMETRO	S/200.00
1	CRONOMETRO	S/20.00
2	DISCOS DE COERTE DE 4.5”	S/7.00
1	DISCO DE DESBASTE DE 4.5”	S/10.00
1	LLAVE TERMOMAGNETICA	S/40.00
1	PINTURA	S/40.00
22	PERNOS M6X 1.25 X1”	S/5.00

22	TUERCAS M6X 1.25 X1"	S/5.00
44	ARANDELAS	S/4.00
3	METROS DE MANGUERA DE 2 1/2"	S/80.00
4	METROS DE CABLE # 14	S/20.00
	MANO DE OBRA	S/300.00
	TOTAL	S/2151.00

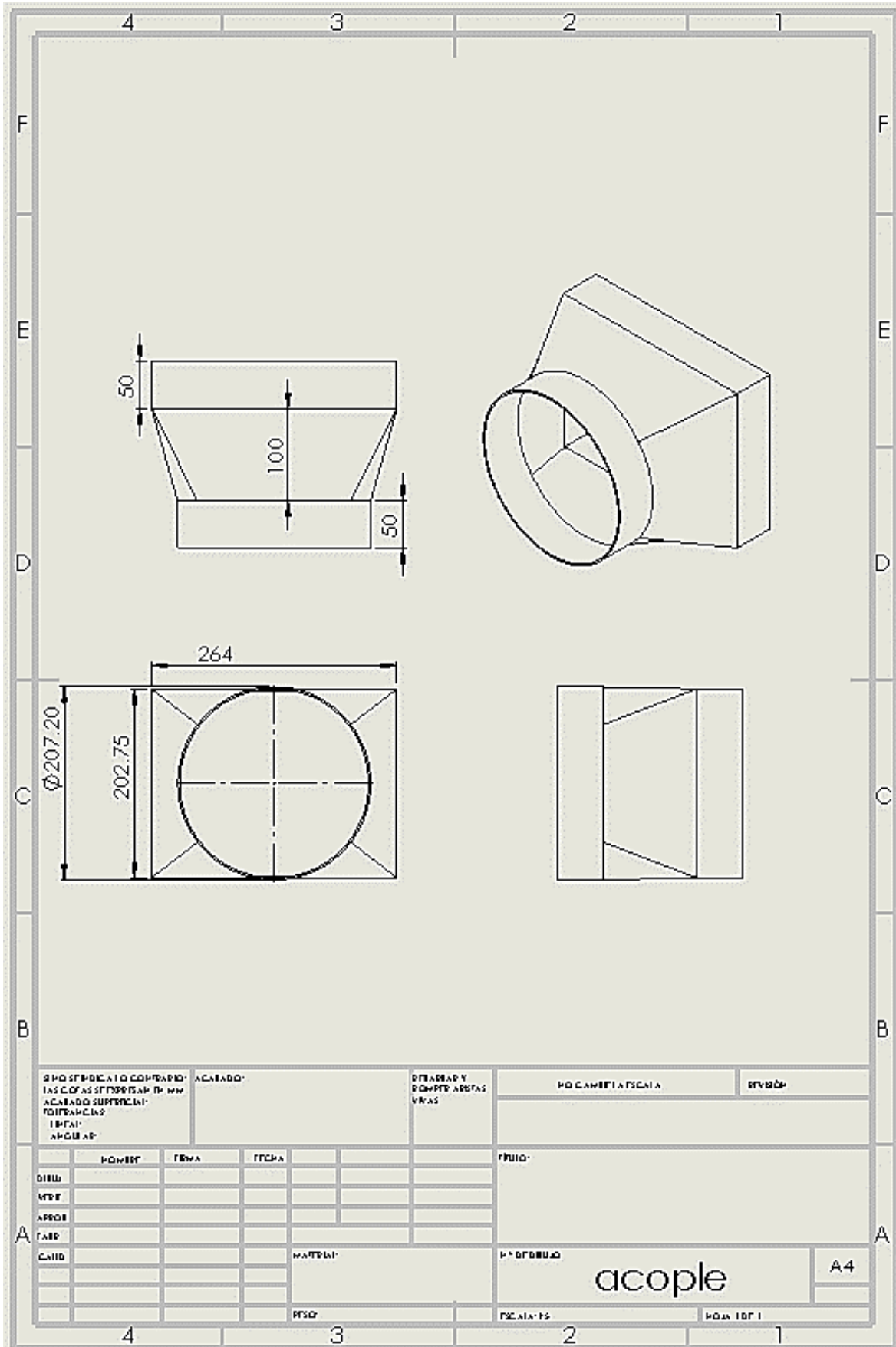


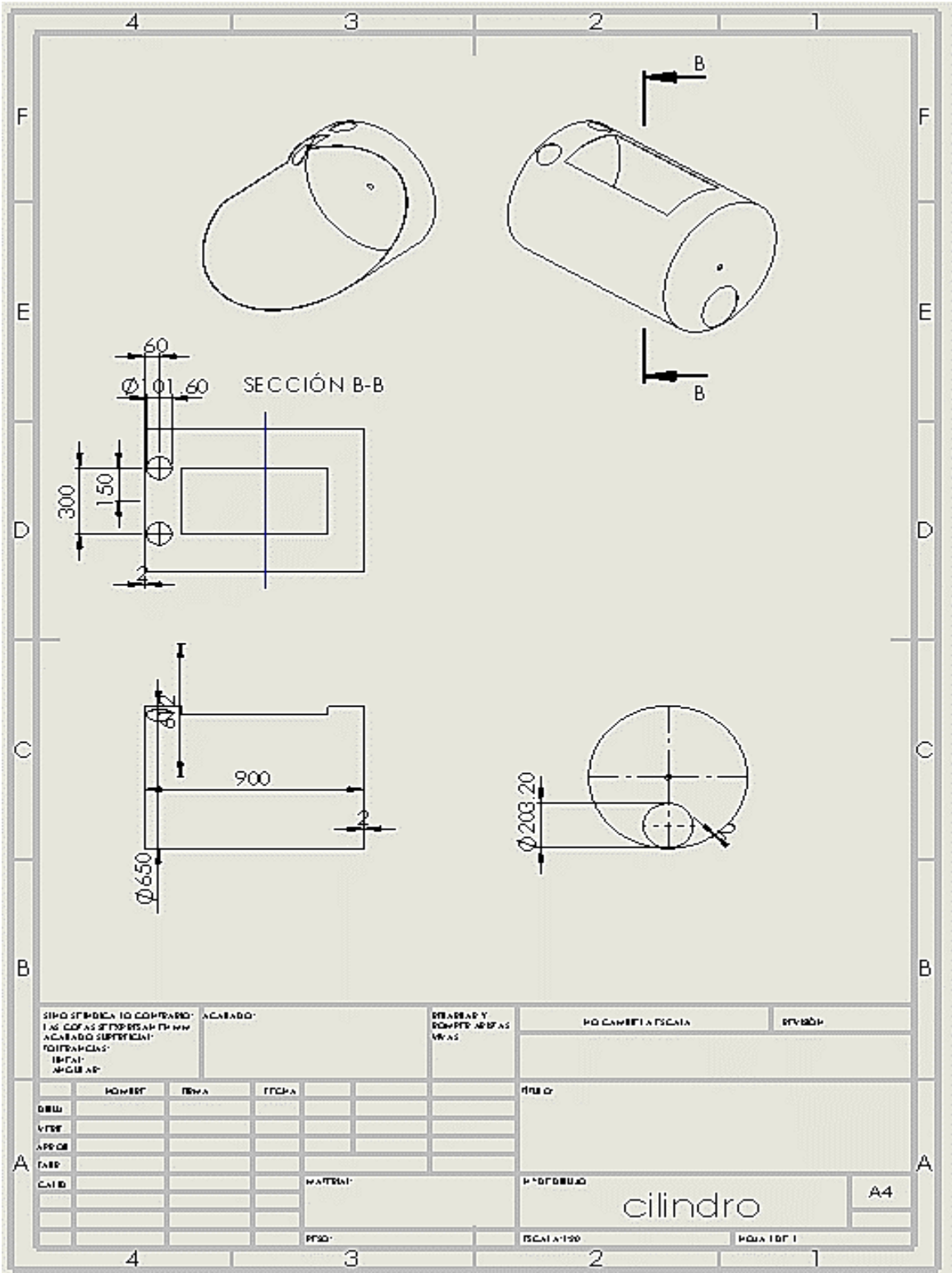


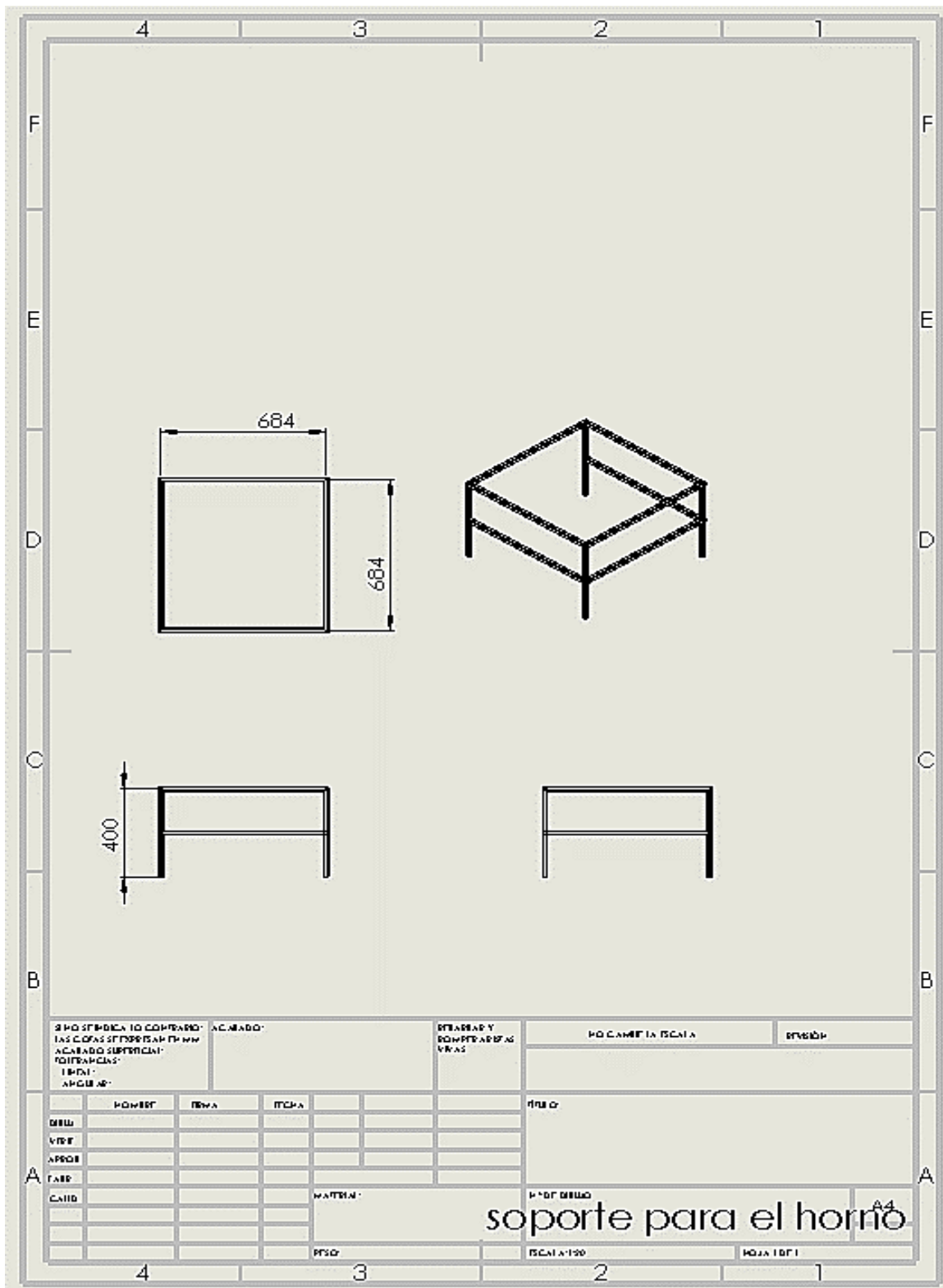


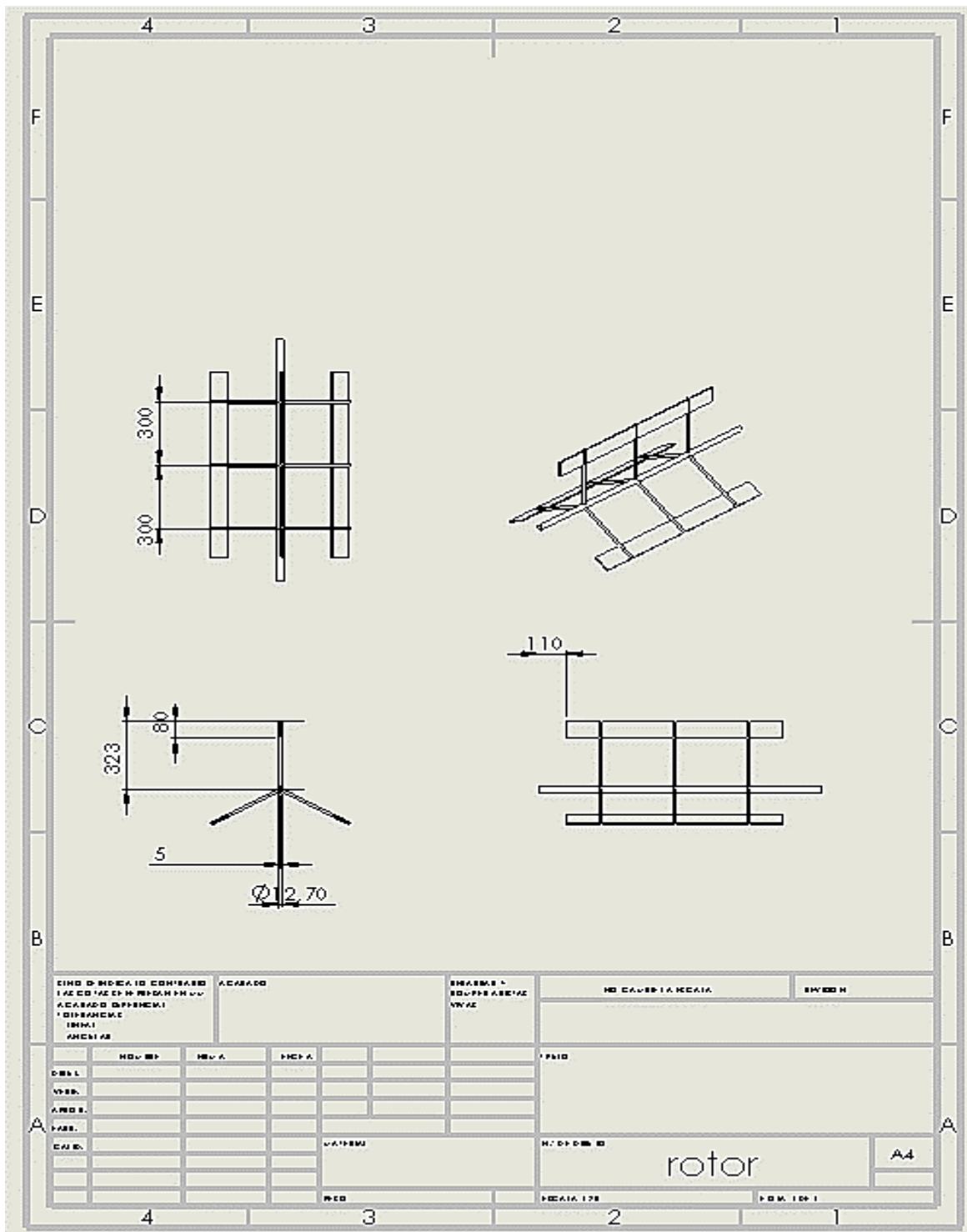


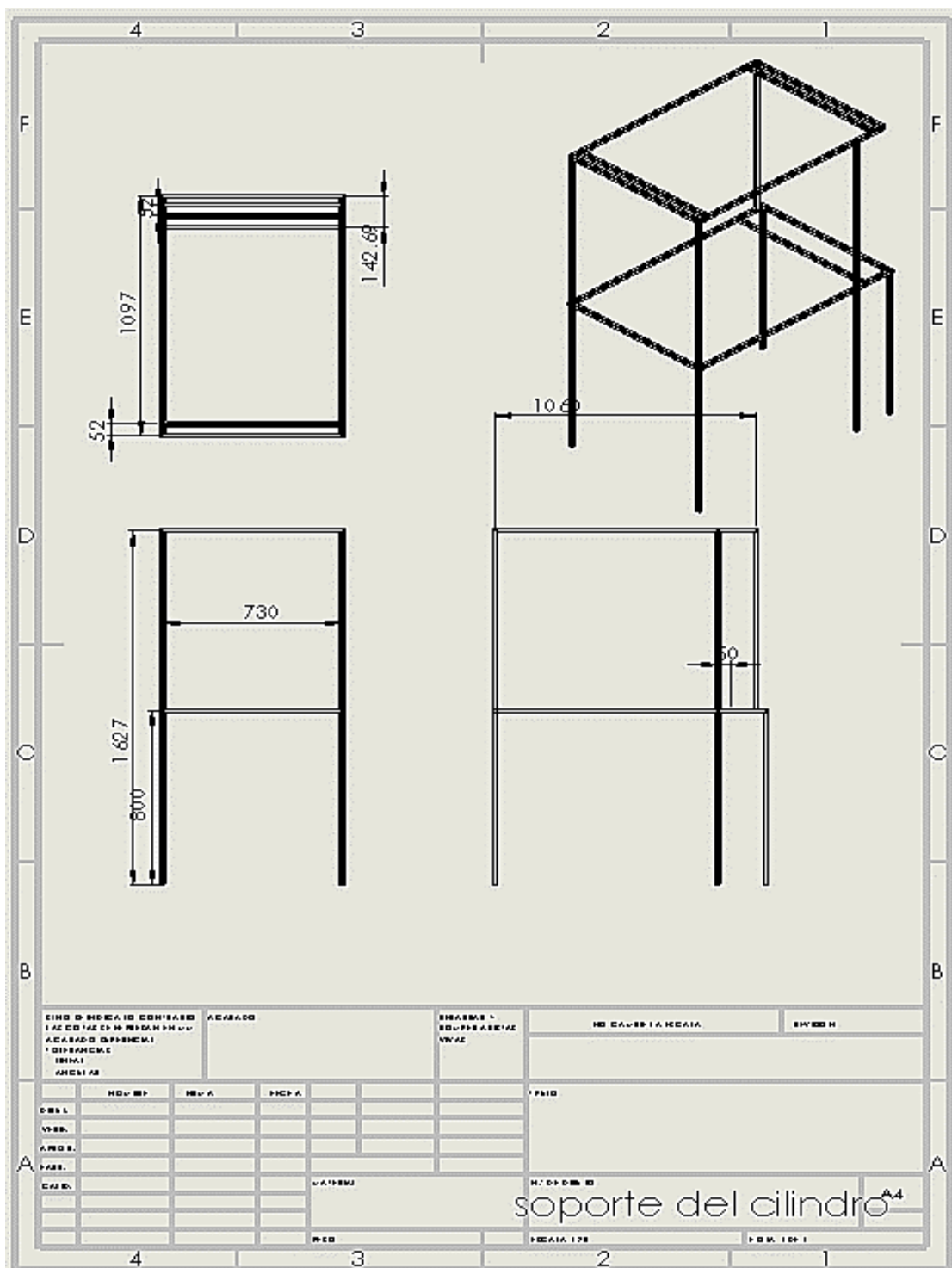
ANEXO 07.- PLANOS











VISTAS DEL SECADOR

