

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de una secadora de café de 0,75 kg/min usando quemador diésel B5-UV en San Ignacio departamento de Cajamarca**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Guillermo Antony Delgado Navarro**

**ASESOR**

**Jony Villalobos Cabrera**

**<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>**

**Chiclayo, 2019**

**Diseño de una secadora de café de 0,75 kg/min usando quemador diésel B5- UV en San Ignacio departamento de Cajamarca**

PRESENTADO POR

**Guillermo Antony Delgado Navarro**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MÉCANICO ELÉCTRICO**

APROBADO POR

Hugo Walter Mundaca Guerra

PRESIDENTE

Wilson Alejandro Jiménez Zuloeta

SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera Vocal

VOCAL

## **DEDICATORIA**

A Dios, por brindarme esta oportunidad de lograr mis metas, y a mis padres Julio Delgado Vilchez e Inés Navarro Marquina Delgado, por estar siempre a mi lado, apoyarme y motivarme para ser una mejor persona y profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mi casa de estudios, la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a los ingenieros y a mis compañeros que me apoyaron en todos estos años de estudio.

# Índice

I.	INTRODUCCIÓN .....	10
II.	OBJETIVOS .....	11
2.1.	Objetivo general .....	11
2.2.	Objetivos específicos .....	11
III.	Justificación.....	12
IV.	MARCO TEÓRICO .....	13
4.1.	Estado del arte.....	13
4.2.	Bases teórico-científicas .....	14
4.2.1.	Variedades del café en el Perú. ....	14
4.2.2.	Calidad de café.....	15
4.2.3.	Grano de café.....	17
4.2.4.	Procesos realizados en el café .....	19
V.	DISEÑO DE LA SECADORA.....	30
5.1.	Metodología .....	30
5.1.1.	Tipo y nivel de investigación .....	30
5.2.	Determinar la capacidad del sistema de secado de café en la provincia de San Ignacio. ....	31
5.2.1.	Producción y certificación orgánica de café en la provincia de San Ignacio. ....	31
5.2.2.	Perspectivas cafetaleras .....	31
5.2.3.	Capacidad del secador de café .....	32
5.3.	Condiciones óptimas del proceso de secado del café y tipo de secador utilizado .....	32
5.3.1.	Condiciones óptimas del proceso de secado de café .....	32
5.3.2.	Determinar el tipo de secador de café a utilizar .....	33
5.4.	Cálculo y selección de los componentes de la secadora de café.....	34
5.4.1.	Cálculo de flujo másico y caudal de aire en secado.....	34
5.4.2.	Cálculo de flujo másico de aire que pasa a través del café.....	35
5.4.3.	Cálculo de flujo másico utilizado en la combustión.....	37
5.4.4.	Cálculo de las pérdidas en la tubería .....	39
5.4.5.	Selección del ventilador.....	42
5.4.6.	Selección del quemador Diésel.....	45
5.4.7.	Selección del intercambiador de calor.....	46
5.4.8.	Esfuerzo generado por el peso del dispositivo .....	47
5.4.9.	Selección de rodamientos.....	53
5.4.10.	Selección de motor ductor .....	54
5.5.	Descripción del Proceso.....	55

5.6.	Propuesta sistema de control de caudal y temperatura.....	55
5.6.1.	Control de caudal.....	56
5.6.2.	Control de temperatura.....	57
VI.	DETERMINAR LA INVERSIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA EL DISEÑO DE LA SECADORA DE CAFÉ. ....	58
6.1.	Presupuesto.....	58
6.2.	Cuadro resumen de energía eléctrica y combustible durante el tiempo de operación 18 horas.....	59
VII.	RESULTADOS.....	60
VIII.	CONCLUSIONES.....	61
IX.	BIBLIOGRAFÍA .....	62
X.	ANEXOS.....	63

## Lista de Tablas

Tabla 1 Diferencia entre café Arábica y Robusta .....	15
Tabla 2 Factores que influyen en la calidad del Café .....	16
Tabla 3 Temperaturas aire, café entrada y salida del secador .....	30
Tabla 4 tipo de secadores.....	33
Tabla 5 Temperaturas aire, café entrada y salida del secador .....	36
Tabla 6 Poder calorífico de combustibles .....	38
Tabla 7 Contenido de componentes mecánicos .....	54
Tabla 8 Componente de generación de calor .....	55
Tabla 9 Equipo de transferencia de calor .....	55
Tabla 10 Descripción de materiales y costo.....	58

## Lista de figuras

Ilustración 1 Partes del grano de café .....	17
Ilustración 2 Promedios e intervalos de confianza para las características de la masa de café cereza recién cosechada por época de cosecha .....	18
Ilustración 3 Propiedades físicas del café .....	19
Ilustración 4 cultivo del grano de café .....	20
Ilustración 5 cosecha del grano de café .....	21
Ilustración 6 despulpado del grano de café.....	21
Ilustración 7 desmucilagador de café.....	22
Ilustración 8 secado convencional del café.....	24
Ilustración 9 secador rotatorio para café.....	25
Ilustración 10 Secadora rotativa tipo guardiola .....	26
Ilustración 11 Secadora rotativa modular .....	26
Ilustración 12 Secadora vertical.....	27
Ilustración 13 Esquema de una instalación típica de secado de café .....	28
Ilustración 14 Esquema de una instalación típica de secado del café .....	35
Ilustración 15 Diagrama de componentes principales del sistema de secado .....	39
Ilustración 16 Diagrama de presión estática y caudal para la selección de ventilador centrifugo .....	44
Ilustración 17 Diagrama de pérdidas por columnas de agua y flujo másico de combustible para la selección del quemador diésel .....	45
Ilustración 18 Diagrama de presión estática y caudal del sistema para la selección del intercambiador de calor .....	46
Ilustración 19 Diagrama de presión y caudal del intercambiador de calor .....	47
Ilustración 20 Diagrama de bloques de control simultáneo de caudal de aire y temperatura de secado de café.....	57

## Resumen

Con el fin de mejorar el proceso de secado del café, manteniendo los estándares de calidad, se diseñó un secador mecánico. El secado es un proceso de gran importancia en la cadena de producción de café, ya que el contenido de humedad (10-12%), es sin duda la característica más importante para determinar si el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El cual tiene ventajas como: menor requerimiento de espacio para secar, reduce la mano de obra, disminuye el tiempo de secado y conserva la calidad del producto. La secadora consta de un compartimiento cilíndrico giratorio para su homogeneidad en el secado. En el cual se le inyectará calor que será proporcionado por un quemador realizando el secado. Teniendo la cámara de secado con elementos mecánicos que ayudarán a remover mejor el grano. El sistema de aire caliente será regulado a una determinada temperatura en la cámara de tal forma que no se pierda la calidad del grano y evitando el tostado del mismo.

Palabras: **Transferencia de masa, proceso de secado, secador rotativo, grano de café, Flujo másico de aire.**

### **Abstract**

In order to improve the coffee drying process, keeping a quality standard in mind, a mechanical dryer was designed. Drying is a process of great importance in the coffee production chain, since moisture content (10-12%) is undoubtedly the most important feature in determining whether the grain is likely to deteriorate during storage. Which has advantages such as: reduced space requirement for drying, reduces labor, decreases drying time and preserves product quality. The dryer consists of a rotating cylindrical compartment for its homogeneity in drying. In which heat will be injected, that will be provided to the burner by drying. Having the camera dried mechanical elements that would help to better remove the grain. The hot air system will be regulated at a certain temperature in the chamber in such a way that the quality of the grain is not lost and the toasting of the same is not lost.

**Keywords: Mass transfer, drying process, rotary dryer, coffee bean, Mass air flow.**

## I. INTRODUCCIÓN

El café es un producto de alto consumo dentro de la sociedad nacional e internacional, consta de diferentes procesos de beneficio, siendo uno de ellos el secado, que consiste en tomar los granos con un alto porcentaje de humedad (aprox. 55% de humedad), que debe ser retirada en el menor tiempo posible para evitar el ataque de hongos que causarían daño es su calidad de sabor y aroma, para que sean de agrado de cada uno de los consumidores finales. [1]

Las microempresas comercializadoras encargadas de la compra-venta de este producto, ven la importante necesidad de obtener una humedad de almacenamiento correcta (aprox. 11% en base humedad) para su posterior venta en los diferentes mercados. [1]

Se fabrica una máquina capaz de extraer la humedad del grano de café, por lo cual son usados los productos de la combustión en el calentamiento de aire atmosférico, impulsando por un ventilador para luego ponerse en contacto con los granos de café. [1]

Las formas más usadas para el calentamiento de aire, están basadas en la quema de un combustible (gas, gas oil, ACPM, carbón, etc). [1]

En la actualidad, el café es secado de forma directa con el sol, echándolos en el piso para que estos reciban los rayos del sol, siendo estos removidos de forma periódica para que el grano sea secado por completo. Para que esto sea posible se necesita de áreas relativamente grandes por lo cual muchos de los agricultores no poseen de estos espacios, por consiguiente, no se puede seguir cosechando ya que sería inútil hacerlo sin antes haber secado el café que se cosechó antes. Esto trae como consecuencia que las plantas se recarguen y se pierda el fruto.

### **Formulación del problema**

¿Cómo diseñar un secador de café de 0,75 kg/min usando quemador diésel B5-UV en san- Ignacio departamento de Cajamarca?

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema de secado de café de 0,75 kg/min usando quemador diésel B5-UV.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la capacidad del secador de secado de café en la provincia de San Ignacio.
- Establecer las condiciones óptimas del proceso de secado del café y el tipo de secador a utilizar.
- Cálculo y selección de los componentes de la secadora de café.
- Determinar la inversión y evaluar económicamente el diseño de la secadora de café.

## **III. Justificación**

El avance continuo de la tecnología ha promovido la expansión de los sistemas de secado mecánico en la industria agrícola, principalmente por su capacidad para reducir riesgos operativos, disminuir costos y ofrecer un mayor control sobre las condiciones de producción. La eficiencia de los sistemas de secado, tanto para el café como para otros granos, depende del conocimiento adecuado de su funcionamiento, lo que permite preservar las propiedades físicas, químicas y sensoriales del producto. En el caso del café, diversos estudios han demostrado que el secado es una etapa determinante para conservar su calidad y prolongar su vida útil. En este contexto, la implementación de un equipo de secado mecánico se presenta como una alternativa técnica viable para pequeños y medianos productores, al proporcionar un método más eficiente, seguro y uniforme para el tratamiento postcosecha del grano.

El diseño del secador de café ofrece múltiples beneficios dentro del proceso productivo. Entre ellos destacan la reducción del espacio requerido para el secado, la facilidad de transporte gracias a su estructura desmontable, y la disminución de la necesidad de mano de obra. Asimismo, permite procesar un mayor volumen de grano, sin depender de las condiciones climáticas, garantizando una operación continua las 24 horas del día. Estas características contribuyen a acortar los tiempos de secado y a mantener la calidad del producto, lo que posibilita obtener café con estándares de exportación que cumplan las exigencias de los

mercados internacionales con menor riesgo de deterioro.

El impacto que generaría la construcción de una secadora de café en la provincia de San Ignacio es sin lugar a dudas, disminuir el tiempo del secado por lo cual ya no sería un problema el acopio de café en almacenes por periodos largos ya que el grano con el tiempo llega a descomponerse generando olores desagradables y perdiendo sus propiedades, siendo así una pérdida para los agricultores.

Por otro lado, al disminuir el tiempo de secado los agricultores tendrán la oportunidad de cosechar todo el grano lo antes posible evitando que la planta se recargue y se dañe como consecuencia de esta.

Con la idea de diseñar una secadora de café se pretende dar una solución muy importante para los agricultores que es el espacio que requiere el café para secarse teniendo en cuenta que el secado de forma directa se da justo cuando es temporada de lluvias.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Estado del arte

Diversos estudios han permitido el desarrollo de diseños mecánicos basados en secadores rotativos tipo “Guardiola”, incorporando innovaciones tecnológicas orientadas a optimizar el proceso de secado. Entre dichas innovaciones se encuentra la implementación de sistemas de control con retroalimentación, cuyo propósito es reducir las complicaciones durante el secado mediante la corrección de inestabilidades presentes en las señales del sistema. Este tipo de integración tecnológica contribuye a mejorar los tiempos de secado, la automatización del proceso, la medición de variables críticas y el control de interrupciones, generando un efecto positivo en la calidad final del producto [2].

En este contexto, se destaca que el objetivo principal del secador electromecánico propuesto se centró en el diseño y simulación del sistema de automatización de la operación de un secador electromecánico de café, con el fin de alcanzar un control más preciso y eficiente del proceso [2].

Se podrá tener acceso a los parámetros necesarios para el diseño y cálculo aplicando las leyes de las ciencias física y matemática. La metodología empleada es una investigación aplicada. [3]

Por ello que he utilizado como herramientas de trabajos la siguiente tesis:

- ✓ Autor: Dany Alejandro Echeverry Ocampo
- ✓ Título: Diseño y simulación de la automatización de un secador Electromecánico de café

- ✓ Autor: Grandes Villalobos, Jorge Eduardo

Título: Diseño de un horno ecológico para el secado de granos de café perales huancaruna S.A.C. – Chiclayo

## 4.2. Bases teórico-científicas.

### 4.2.1. Variedades del café en el Perú.

En el territorio peruano, el cultivo del café se desarrolla favorablemente entre los 600 y 1800 metros sobre el nivel del mar, con una mayor concentración (alrededor del 75%) de cafetales situados por encima de los 1000 msnm [3]. La combinación de diversos factores agroclimáticos, como el tipo de suelo, las condiciones de precipitación y la radiación solar, genera un entorno ideal para el desarrollo de este cultivo.

En el Perú predominan las especies *Coffea arábica*, las cuales presentan distintos perfiles sensoriales caracterizados por variaciones en aroma, acidez y sabor. Entre las principales variedades cultivadas se encuentran Típica (70 %), Caturra (20 %) y otras (10 %). Asimismo, cerca del 90 % de la producción nacional se desarrolla bajo sombra, principalmente de especies leguminosas, con una densidad promedio de 2000 plantas por hectárea [3].

En línea con las tendencias actuales del mercado internacional, varios grupos de productores peruanos se han especializado en el cultivo de cafés orgánicos y de especialidad, reconocidos por su alta calidad en taza, acidez equilibrada y perfil sensorial distintivo. Estas características están estrechamente vinculadas con las condiciones de microclima, temperatura y altitud comprendida entre los 1400 y 1800 msnm [3].

Tabla 1 Diferencia entre café Arábica y Robusta

	<b>Arábica</b>	<b>Robusta</b>
<b>Fecha de descripción de la especie</b>	1753	1895
<b>Cromosomas (2n)</b>	44	22
<b>Tiempo que tarda desde la flor hasta la cereza madura</b>	9 meses	10 - 11 meses
<b>Floración</b>	después de las lluvias	irregular
<b>Cerezas maduras</b>	caen	Quedan
<b>Rendimiento (kg granos/ha)</b>	1.500 - 3.000	2.300 - 4.000
<b>Raíz</b>	profunda	poco profunda
<b>Temperatura óptima (media anual)</b>	15 - 24° C	24 - 30° C
<b>Precipitación pluvial óptima</b>	1.500 - 2.000 mm	2.000 - 3.000 mm
<b>Crecimiento óptimo</b>	1.000 - 2.000 m	0 - 700 m
<b>Hemileiavastatrix</b>	susceptible	resistente
<b>Koleroga</b>	susceptible	tolerante
<b>Nematodes</b>	susceptible	resistente
<b>Traqueomicosis</b>	resistente	susceptible
<b>Enfermedad del fruto del café</b>	susceptible	resistente
<b>Contenido de cafeína del grano</b>	0,8 - 1,4%	1,7 - 4,0%
<b>Forma del grano</b>	chato	Alargado
<b>Características típicas del café bebida</b>	acidez	amargor, pleno
<b>Cuerpo</b>	promedio 1,2%	promedio 2,0%

Fuente: Organización internacional del café

#### 4.2.2. Calidad de café

La calidad del café constituye un factor determinante en su posicionamiento dentro del mercado internacional, ya que de ella depende su nivel de aceptación y demanda. Dado que este sector es altamente competitivo, los estándares de calidad requeridos son rigurosos. No obstante, el café producido en el Perú se encuentra entre los más valorados y solicitados a nivel global, lo que evidencia su excelente calidad y cumplimiento con las exigencias del mercado [3].

“La calidad del café peruano tiene una sólida base en microclimas y altitud, pero también depende en gran medida de la variedad de semilla y de la aplicación de prácticas agrícolas adecuadas. Asimismo, hablar de cultura de calidad también implica el reconocimiento a la gestión y cumplimiento de los compromisos internacionales”. [3]

Debido a que el café peruano está cumpliendo con los requerimientos internacionales, podrá exportar mayor cantidad, además de entrar en nuevos mercados [3]

Si bien es cierto que se están tomando las medidas respectivas, también el Estado debería brindar apoyo técnico además de inversión en la producción de café. [3]

- **La calidad del café es influida por varios elementos**

En el Perú, el beneficio del café se realiza principalmente mediante el proceso húmedo, el cual incluye una etapa de fermentación controlada [3]. Este procedimiento se desarrolla bajo estrictos estándares de calidad que abarcan desde la selección de la semilla y la producción de almácigos, hasta la cosecha del fruto maduro. Posteriormente, el control continúa en las plantas de beneficio, donde se determinan parámetros como el contenido de humedad, las características físicas del grano, el análisis sensorial en taza, el proceso de tostado, el envasado y la estabilidad del producto durante el almacenamiento [3].

El sector privado, conformado por exportadores, cooperativas, productores e industrias vinculadas, ha desarrollado la infraestructura necesaria para cubrir todas las etapas de la cadena productiva, asumiendo la responsabilidad del acopio y la comercialización tanto del café verde como del tostado. Por su parte, el Estado participa a través de la formulación de políticas agrarias y la supervisión sanitaria, mediante las instituciones competentes encargadas del control fitosanitario [3].

Tabla 2 Factores que influyen en la calidad del Café.

<b>FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL CAFÉ PERUANO</b>		
<b>COSECHA Y BENEFICIO</b>	<b>BUENA CALIDAD</b>	<b>DISMINUYE LA CALIDAD</b>
<b>COSECHA</b>	Frutos maduros y bien pintones.	Frutos verdes, maduros y sobre maduros.
<b>DESPULPADO</b>	El mismo día	Lo almacenan varios días
<b>FERMENTADO</b>	Entre 12 a 18 horas.	Sobre fermentados por más de 24 horas, y juntan fermentos de varios días.
<b>LAVADO Y CLASIFICADO</b>	Con aguas limpias, y utilizan canal de correteo	Mal lavado dejando mucílago sobre el grano. No clasifican el café
<b>SECADO</b>	Utilizan pisos de cemento o mantas gruesas. Humedad 12 a 14%	Secan en el piso o en mantas muy delgadas. Humedad mayor del 20%
<b>ALMACENADO</b>	En lugares libres de olores fuertes.	En lugares cerca de la cocina. En almacenes que tienen olores fuertes con humedad mayores a 20%.
<b>RENDIMIENTO</b>	75 a 80%	Menos de 75%

Fuente: Organización internacional del café.

### 4.2.3. Grano de café

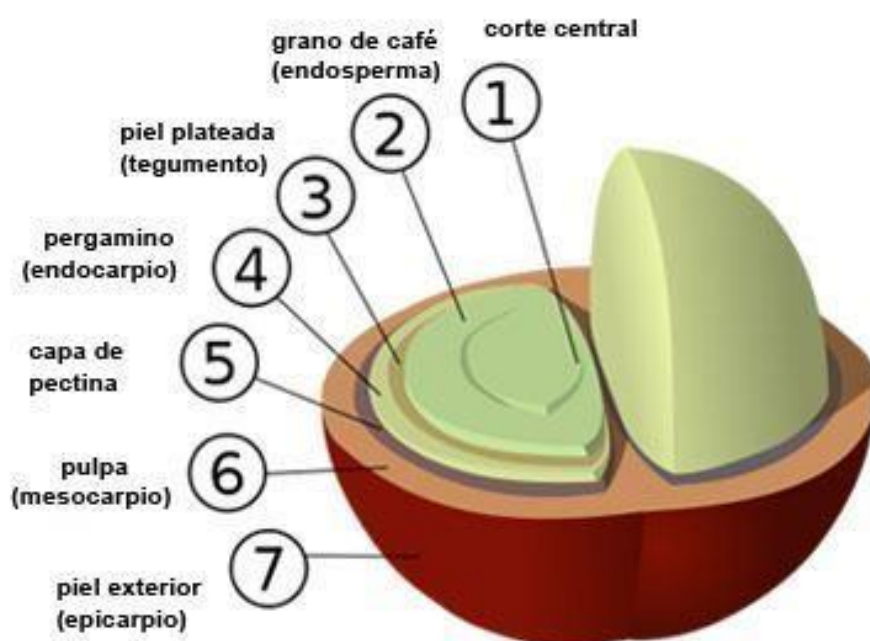
El fruto del café, conocido como café cereza, está constituido por diferentes capas que protegen la semilla. La pulpa, formada por la epidermis y parte del mesocarpio, presenta una coloración que varía desde verde —por la presencia de clorofila— hasta tonalidades amarillas o rojas asociadas a pigmentos tipo antocianinas, dependiendo de la variedad y del grado de madurez del fruto [4].

Debajo de la epidermis se encuentra el mucílago o mesocarpio interno, compuesto por una capa de tejido esponjoso de aproximadamente 0,5 mm de espesor, con alto contenido de azúcares y pectinas, cuya función principal es rodear y proteger las dos semillas ubicadas de manera opuesta por su cara plana [4].

Cada semilla o almendra está recubierta por dos membranas: la primera, denominada pergamino (endocarpio), presenta un color amarillo pálido, textura dura y estructura frágil; la segunda, conocida como película plateada (tegumento seminal), es más delgada y se encuentra firmemente adherida al grano o albumen. En la base interna del grano se localiza el embrión o germen, responsable del desarrollo de la planta [4].

Ilustración 1 Partes del grano de café.

## ESTRUCTURA DEL FRUTO Y DEL GRANO DE UN CAFETO



Fuente: <http://multiblog.educacion.navarra.es/gangsva/2012/05/14/estructura-del-fruto-y-grano-del-cafeto>

- **Características físicas y térmicas del grano de café**

o **Características referente a la masa de cosecha**

En la masa de café recién cosechada, los porcentajes promedio de frutos verdes, sobremaduros, secos y afectados por broca no presentaron diferencias estadísticas significativas entre las tres etapas de cosecha analizadas. En consecuencia, se determina que estas variables mantienen un comportamiento independiente respecto a la época de recolección.

Ilustración 2 Promedios e intervalos de confianza para las características de la masa de café cereza recién cosechada por época de cosecha

Variable	Época de cosecha	LI	Promedio	LS
Frutos verdes (%)	Inicio	9,45	11,37	13,29
	Intermedio	4,52	7,35	10,18
	Final	5,46	9,61	13,76
Frutos sobremaduros (%)	Inicio	2,09	5,15	8,21
	Intermedio	2,26	4,14	6,02
	Final	3,78	9,10	14,42
Frutos secos (%)	Inicio	1,48	3,47	5,46
	Intermedio	1,53	3,56	5,59
	Final	3,45	6,40	9,35
Frutos brocados (%)	Inicio	1,15	4,84	8,53
	Intermedio	1,84	6,37	10,90
	Final	3,36	6,93	10,50

Fuente: Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio CENICAFE

Ilustración 3 Propiedades físicas del café

	Orbe (1977)	Café Seleccionado	Café sin seleccionar
<b>Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>			
Fruto	600	621,57	616,50
Pulpa fresca	270	299,74	298,20
Grano de café en baba	800	826,71	803,40
Grano de café lavado	650	701,87	693,66
Grano de café escurrido	s.d.	687,17	678,31
Grano de café seco de agua	520	s.d.	s.d.
Grano de café pergamino	380	391,44	385,75
Grano de café almendra	680	709,99	707,31
<b>Peso (g)</b>			
Un fruto	2,00	1,99	1,85
Un grano de café en baba	s.d.	0,57	0,55
Un grano de café lavado	s.d.	0,40	0,39
Un grano de café escurrido	s.d.	0,39	0,38
Un grano de café pergamino	0,22	0,21	0,21
Un grano de café almendra	0,18	0,18	0,18
<b>Diámetros (mm)</b>			
<b>Diámetro ecuatorial</b>			
Fruto	s.d.	14,37	13,99
Grano de café en baba	s.d.	9,24	9,02
Grano de café lavado	s.d.	8,70	8,63
Grano de café escurrido	s.d.	8,80	8,64
Grano de café pergamino	s.d.	8,55	8,43
Grano de café almendra	s.d.	7,11	7,04
<b>Diámetro polar</b>			
Fruto	s.d.	15,96	15,77
Grano de café en baba	s.d.	12,72	12,35
Grano de café lavado	s.d.	12,31	12,22
Grano de café escurrido	s.d.	12,38	12,03
Grano de café pergamino	s.d.	12,01	11,87
Grano de café almendra	s.d.	9,69	9,48

Fuente: Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio CENICAFE

#### 4.2.4. Procesos realizados en el café

##### - Cultivo

Las mejores condiciones para el cultivo del café están dadas por alturas que se encuentran entre los 1300 y 2100 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura, entre 19 y 23 grados centígrados, considerando apropiada una lluvia durante el año de 1800 a 2800 milímetros. [4]

El café arábico es la especie más importante entre todos los cafetos, de la cual parten ciertas variedades con diferentes tamaños, entre las cuales encontramos las siguientes: Antigua, Caturra, Villalobos, Típica roja, Típica amarilla, Variedad Colombia, maragogipe, mundo nuevo, etc. [4]

De todas las especies presentes en el mundo la más apetecida es la de café Antigua, llamándose gourmet; dándosele un muy buen precio en el mercado, pero lo delicado que suele ser su cultivo la hace una especie propensa a las enfermedades. [4]

El café es después del petróleo, el producto comercial más importante del mundo, por encima del carbón, el trigo y el azúcar. [4]

#### Ilustración 4 cultivo del grano de café



Fuente: <https://chanchamayo.olx.com.pe/terreno-de-cultivo-de-cafe-en-pichanaki- iid-918212817>

#### - Cosecha de grano

La cosecha es el periodo durante el cual se recolectan las cerezas maduras de las plantas, las cuales presentan un color rojizo y en algunas especies un amarillo intenso; esto se hace de forma manual, iniciando en el mes de agosto y postergándose hasta el mes de enero, siendo el mes de octubre y noviembre donde se presenta la mayor cantidad de granos maduros, dependiendo de la altura y las precipitaciones de lluvia de la región. [4]

Los principales defectos atribuibles a una recolección inadecuada se manifiestan en alteraciones sensoriales del producto final. Entre ellos destacan los aromas y sabores ásperos o amargos generados por la presencia de granos negros, así como los sabores fermentados derivados de la mezcla de frutos sobremaduros e inmaduros durante la cosecha. De igual forma, la inclusión de granos perforados por insectos contribuye negativamente a la calidad del café [4].

Ilustración 5 cosecha del grano de café



Fuente: <http://www.vanguardia.com/economia/nacional/228120-la-cosecha-de-cafe-crece-30-frente-a-2012>

#### - **Despulpado**

Luego de ser recolectado el fruto maduro de café, es llevado a las tolvas de almacenamiento, quienes dirigen el grano a la máquina despulpadora, figura 4, la cual separa la cáscara de cada cereza dejando solo el grano, por medio de un rodillo estriado que presiona el grano contra una placa de acero (pechera). [4]

La separación incompleta de la cáscara (pulpa) en los granos, da como resultado un café con aroma a fermento. [4]

Ilustración 6 despulpado del grano de café



Fuente: <http://infocafes.com/portal/infocafes/procesamiento-del-cafe/>

### - Remoción del mucílago

La remoción del mucílago, es la separación de la capa de tejido esponjoso que rodea los granos de café después del despulpado, lo cual se realiza por medio de la máquina desmucilagadora, figura 5, que usa como principio de funcionamiento la fuerza centrífuga y la fricción contra sus paredes que se encuentran estáticas mientras unas aspas en forma de tornillo sin fin lo mueven de abajo hacia arriba. [4]

Otro método es permitir la fermentación del mucílago durante un tiempo aproximado de 20 horas, donde actúan bacterias levaduras y enzimas, formando ácidos que diluyen el mucílago. Aquí el tiempo es crítico ya que se origina café con aroma y sabor a vinagre, piña madura, cebolla, rancio y nauseabundo. [4]

Ilustración 7 desmucilagador de café



Fuente: <http://mcjabe.blogspot.pe/2015/06/poscosecha-del-cafe-en-la-finca-la.html>

### - Lavado

En este proceso los granos de café deben ser separados de toda clase de impurezas tales como residuos de mucílago, hojas, granos de arena y otras impurezas propias de los procesos anteriores, para lo cual el café es sometido a una limpieza utilizando estanques con agua limpia. Los mayores problemas se dan por uso de agua sucia originando pergamino manchado, sabores sucios o fermento. [4]

## - **Secado de granos de café**

El proceso de secado de granos tiene como finalidad eliminar parcial o totalmente el contenido de agua presente en el interior del grano mediante la evaporación del agua hacia un flujo de aire con alta capacidad desecante. En la etapa inicial, la humedad superficial del grano se transfiere fácilmente al aire; sin embargo, conforme avanza el proceso, se produce una migración de agua desde el interior hacia la superficie con el fin de reemplazar la humedad ya evaporada [4].

Este fenómeno está estrechamente relacionado con la presión de vapor, propiedad inherente a cada líquido que permite su evaporación bajo condiciones adecuadas. La evaporación ocurre cuando la presión de vapor del líquido supera la presión atmosférica circundante, en este caso, la del aire ambiental utilizado en el proceso de secado [4].

Para lograr la presión de vapor requerida en la superficie de los granos, principalmente al final del secado cuando el contenido de humedad dentro del grano es menor, nos vemos en la obligación de realizar un calentamiento del aire, haciéndolo más sediento por su baja humedad relativa presente en este momento y al mismo tiempo aumentando la diferencia en la presión de vapor entre el aire y los granos. [4]

### ○ **Secado convencional del grano de café**

El secado es una fase importante en el beneficio del café, que permite conservar su calidad al reducir el contenido de agua (de un 100% bh, en algunos casos a un 12% bh) del grano a niveles que permitan su conservación evitando su deterioro. [4]

Es aconsejable realizar un presecado en patios expuestos al sol para reducir la humedad del grano, llevándolo a valores que oscilan entre un 45-55 % en bh, para ser depositado en el cuarto de secado del silo construido para tal fin en este proyecto, donde se le darán las condiciones óptimas para su almacenamiento y posterior comercialización. [4]

Las normas vigentes para la comercialización del café pergamino seco establecen un contenido de humedad entre el 10 y el 12% b.h. Humedades superiores al 13%, causan deterioro considerable, presentándose ataque de hongos, un aspecto mohoso,

permitiendo que el grano de café se manche. [4]

#### Ilustración 8 secado convencional del café



Fuente:[http://anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:NAC\\_Anacafe\\_i\\_gualdad\\_mercado](http://anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:NAC_Anacafe_i_gualdad_mercado)

#### ○ **Secador artificial de grano de café**

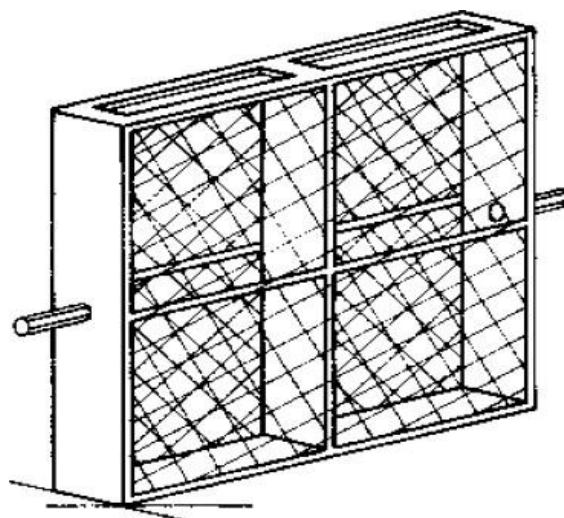
En este apartado tendremos las formas y los elementos empleados en el secado de café. El secado mecánico del café emplea fuentes de energía distintas a la solar, como derivados del petróleo o energía eléctrica, para generar el calor necesario en el proceso [2]. Este sistema incorpora diversos dispositivos, entre ellos un ventilador de tiro forzado encargado de impulsar aire caliente a través de la masa de granos, los cuales se disponen en una estructura provista de uno o varios compartimientos de secado [2].

Para que el aire alcance la capacidad desecante requerida, su temperatura debe incrementarse mediante una caldera, especialmente cuando se utilizan combustibles sólidos como carbón o cisco. En cambio, si el combustible empleado es gas, el calentamiento puede realizarse directamente a través de un quemador, asegurando una distribución uniforme del calor dentro del sistema [2].

#### ○ **Secador solar rotatorio**

Este secador consta de una bandeja rotatoria que permite recibir la energía radiante en forma perpendicular, mediante su rotación (siguiendo la trayectoria del sol) alrededor de un eje y fijación manual temporal.

Ilustración 9 secador rotatorio para café



Fuente:

[www.cd3wd.com/cd3wd\\_40/inpho/vlibrary/x0058s/gif/x0058s0z.gif](http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/inpho/vlibrary/x0058s/gif/x0058s0z.gif)

○ **Secador de cuartos inclinados**

La estructura del sistema de secado está conformada por dos componentes principales. El primero corresponde a una superficie inclinada a  $30^\circ$  respecto a la horizontal, construida en concreto, característica de los sistemas de secado artificial [2]. Esta sección integra una cámara de combustión y un mecanismo de impulsión de aire que permite dirigir el flujo térmico a través de la masa de granos.

El sistema dispone además de dos compartimientos destinados a alternar las fases de reposo del producto, favoreciendo la liberación del vapor de agua contenido en los granos y contribuyendo a un secado más uniforme y controlado [2].

○ **Secadora rotativa.**

La secadora rotativa utiliza un movimiento de rotación continua que permite lograr una mayor homogeneidad en el secado de los granos [2]. Su estructura está compuesta por un cilindro metálico en cuyo interior se deposita el café; durante la operación, el sistema mantiene una mezcla constante del producto para garantizar una distribución uniforme del calor y una evaporación equilibrada de la humedad.

Para su funcionamiento óptimo, se recomienda llenar el tambor hasta aproximadamente el 70 % de su capacidad total, lo que facilita el paso del aire caliente entre los granos y favorece la extracción eficiente de la humedad. Cuando la carga de

producto es inferior a este valor, el aire no atraviesa adecuadamente la capa de café, provocando pérdidas térmicas hacia el ambiente y una reducción en la eficiencia del proceso [2].

En comparación con otros modelos convencionales, la secadora rotativa ofrece un mayor equilibrio durante la fase de estabilización del grano, lo que contribuye a una mejor uniformidad en el producto final [2].

Ilustración 10 Secadora rotativa tipo guardiola

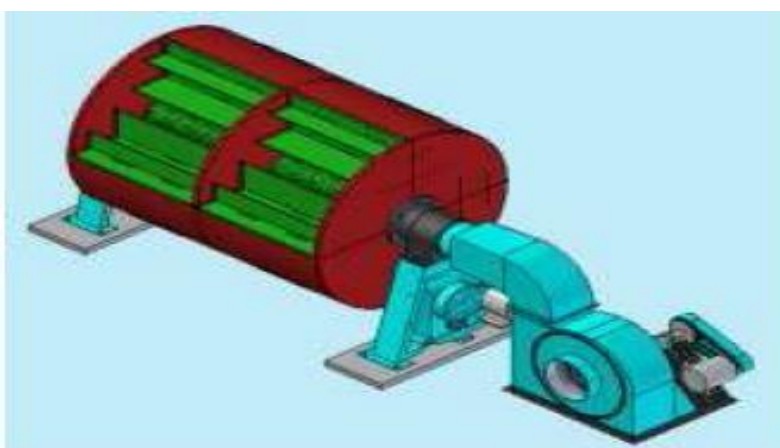


Fuente: [www.mchindustrial.com.mx.com/index.php?p=1\\_5\\_Galer-a](http://www.mchindustrial.com.mx.com/index.php?p=1_5_Galer-a)

○ **Secadora rotativa modular**

Una variante de la secadora rotativa es la modular, presenta una serie de módulos, los cuales son empleados para secar el café de diferentes calidades sin mezclarlos, utilizando el mismo equipo en una sola operación. [2]

Ilustración 11 Secadora rotativa modular

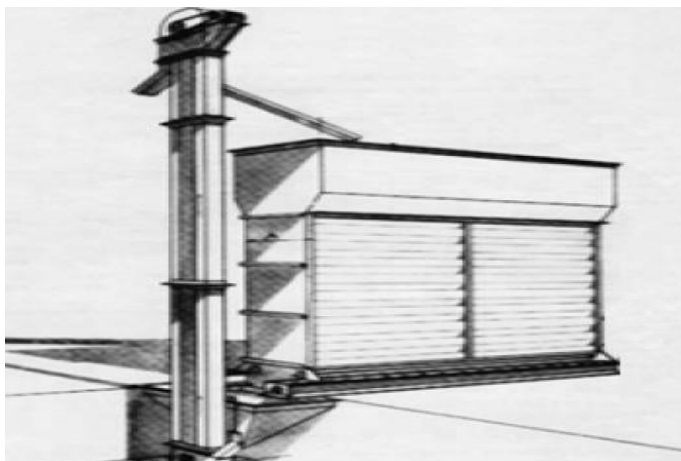


Fuente: [www.metalcol.com/web/novedades/44-noticias/59-rotativa](http://www.metalcol.com/web/novedades/44-noticias/59-rotativa)

○ **Secadora vertical**

Su estructura está conformada por un elevador de cangilones, por columnas delgadas por donde el café desciende con velocidad constante. El aire atraviesa estas columnas con un flujo constante para lograr un secado homogéneo en contra del flujo del grano; esta clase de secado es muy eficiente ya que el aire sale a través del grano más húmedo. [2]

Ilustración 12 Secadora vertical



Fuente: [www.bendig.co.cr/presecadoras.html](http://www.bendig.co.cr/presecadoras.html)

### - Principio de secado

Los conceptos requeridos en la transferencia de calor, transferencia de masa y momento, están muy involucrados para el secado de granos. Para entender el secado de granos es necesario primero comprender la composición y la naturaleza del grano como también el medio convencional de extracción de humedad y la atmósfera circundante. [4]

#### ○ Transferencia de masa

Durante el proceso de secado, los granos transfieren la mayor parte de su contenido de humedad al aire caliente que circula de manera forzada entre ellos [4]. Este fenómeno se desarrolla en dos etapas principales: una fase inicial, en la cual la resistencia a la pérdida de humedad se presenta principalmente en la superficie del grano; y una fase final, donde dicha resistencia se origina en el interior del mismo. En esta segunda etapa, la humedad interna migra hacia la superficie mediante un proceso de difusión, permitiendo la evaporación del agua acumulada [4].

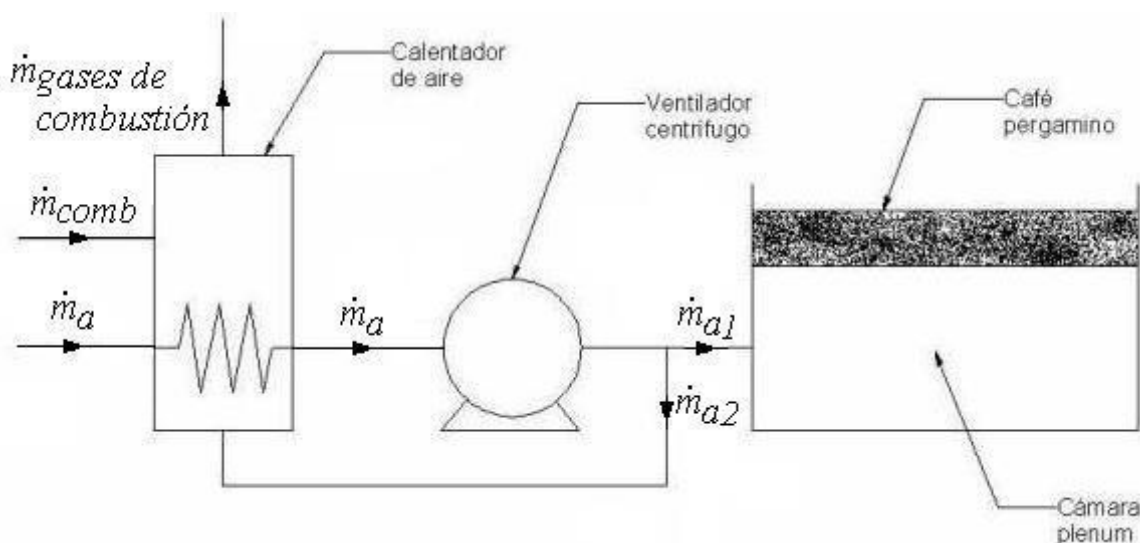
En la primera fase, el coeficiente de transferencia de masa por convección define la velocidad de secado, mientras que en la segunda —más prolongada— el parámetro determinante es el coeficiente de difusión de la humedad o la resistencia interna del grano al desplazamiento del agua [4].

Como consecuencia de este proceso difusivo, los niveles de humedad varían dentro de cada grano: son mayores en el núcleo y menores en la superficie. A medida que el contenido total de humedad disminuye, la difusión del agua se torna más lenta; para contrarrestar este efecto, se incrementa la temperatura del aire de secado, lo que eleva la presión de vapor del agua y acelera la transferencia de humedad hacia el exterior [4].

De esta manera, se podría hablar que existe una doble difusión del agua en los granos que van a ser secados, pero acompañada de una difusión de calor ya sea porque venga del exterior, por conducción, por convección, por radiación o del interior por pérdidas dieléctricas. [4]

La determinación del flujo másico de aire necesario para realizar el secado de una masa específica de café en un tiempo establecido resulta fundamental para garantizar la eficiencia del proceso y efectuar una selección adecuada del ventilador empleado en los sistemas de secado o silos de beneficio del café [5].

Ilustración 13 Esquema de una instalación típica de secado de café



Fuente: Cálculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café.

- **Flujo másico de aire transportado por el ventilador**

Para calcular el flujo másico de aire que pasa a través del ventilador, se deben calcular y sumar el flujo másico de aire que pasa a través del café y el flujo másico de aire que se dirige hacia la cámara de combustión. [5]

- **Flujo másico de aire que pasa a través del café**

Es importante conocer cuál debe ser el flujo de masa de aire  $\dot{m}_{a1}$  que se necesita para extraer la humedad adecuada del café ya que la etapa del secado es de gran importancia para garantizar una buena calidad del producto. [5]

Para conocer cuál debe ser el flujo de masa de aire  $\dot{m}_{a1}$  se parte de la hipótesis de que

el calor de vaporización ganado por el café  $Q_w$  es igual al producto del calor perdido o cedido por el aire  $Q_{a1}$  y la eficiencia de secado  $n_s$  [5]

$$Q_w = n_s \cdot Q_{a1} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{m}_w (C_{p_w} \Delta T_w + h_{fg})}{n_s \cdot C_{p_{a1}} \Delta T_{a1}} \quad (2)$$

$\dot{m}_{a1}$ : Flujo masa de aire para extraer la humedad del café.

$Q_w$ : Calor de vaporización ganado por el café.

$Q_{a1}$ : Calor cedido por el aire.

$n_s$ : Eficiencia de secado.

$\dot{m}_w$ : Flujo de masa de agua extraído del café.

$C_{p_w}$ : Calor específico vapor de agua.

$\Delta T_w$ : Cambio de temperatura, etapa de secado en el café.

$h_{fg}$ : Entalpía vaporización de agua.

$C_{p_{a1}}$ : Calor específico aire atmosférico.

$\Delta T_{a1}$ : Cambio de temperatura aire de secado.

$t$ : Tiempo que se hace pasar el aire por el café.

La temperatura del aire de secado debe estar entre 45°C y 55°C [6] o puede ser menor. Si se utilizan temperaturas superiores a 55°C se puede producir un sobresecado de las capas exteriores en los granos de café. [5]

Tabla 3 Temperaturas aire, café entrada y salida del secador

$T_{a1, \text{entrada}} (^{\circ}\text{C})$	50
$T_{a1, \text{salida}} (^{\circ}\text{C}):$	20
$T_{w, \text{entrada}} (^{\circ}\text{C}):$	20
$T_{w, \text{salida}} (^{\circ}\text{C}):$	35

Fuente: Cálculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café

○ **Flujo másico de aire que se utiliza en la combustión**

El flujo másico de aire  $\dot{m}_{a2}$  necesario en el proceso de combustión

$$\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{\text{comb}} \cdot AC =$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} \cdot ACT \cdot (1+e) \text{ e:}$$

exceso de aire

ACT: Relación aire combustible teórico

## V. DISEÑO DE LA SECADORA

### 5.1. Metodología

#### 5.1.1. Tipo y nivel de investigación

##### - Tipo de investigación

Con respecto al tipo de investigación en el presente trabajo su metodología es aplicada, se utilizaron conocimientos de ingeniería para aplicarlos en el diseño de la secadora de café.

##### - Nivel de investigación

Según sus características se trata de un estudio descriptivo

## **5.2. Determinar la capacidad del sistema de secado de café en la provincia de San Ignacio.**

### **5.2.1. Producción y certificación orgánica de café en la provincia de San Ignacio.**

De acuerdo con el **Proyecto Especial de Titulación de Tierras (PETT)**, solo el **21 %** de las tierras agrícolas del país cuenta con títulos de propiedad formal. En la provincia de San Ignacio, se registran alrededor de 252 763 hectáreas cultivadas, equivalentes al 14,83 % del área total del departamento de Cajamarca. Además, se contabilizan aproximadamente 17 943 productores agropecuarios —que representan el 9 % del total departamental— y 31 737 unidades agropecuarias, cifra que también equivale al 9 % del total regional. Estos datos reflejan la relevancia que posee la provincia en la producción cafetalera del país.

Considerando que el café es el principal producto agrícola de exportación del Perú y constituye la fuente económica más importante para los pobladores de San Ignacio, se hace necesario fortalecer y promover esta actividad productiva. De acuerdo con la Asociación Provincial de Cafetaleros Solidarios de San Ignacio (APROCASSI), la producción anual alcanza los 650 000 sacos de 55,2 kg cada uno. La superficie cultivada asciende a 87 500 hectáreas, ubicadas entre los 1200 y 1800 msnm, zonas donde se concentran la mayoría de sellos de certificación orgánica y de comercio justo. Sin embargo, solo cerca del 30 % de la producción total cuenta con certificación. Entre las variedades más comunes destacan Typica, Caturra, Gran Colombia y Catimor. Se estima, además, que unas 35 000 familias dependen directamente del cultivo de café, lo que evidencia su importancia social, económica y productiva en la región.

### **5.2.2. Perspectivas cafetaleras**

De acuerdo con la Asociación Provincial de Cafetaleros Solidarios de San Ignacio (APROCASSI), se evidencia una etapa de renovación y expansión cafetalera en la provincia, con más de 15 000 hectáreas replantadas. En un período estimado de tres años, se proyecta un incremento productivo del 15 % en comparación con la campaña del año 2015.

En este contexto, y considerando que el cultivo de café constituye una actividad

agrícola sostenible y económicamente rentable para los productores de San Ignacio, resulta necesario fortalecer los mecanismos de asociatividad y cooperación. Dichas estrategias permitirán un acceso más amplio a mercados de alto valor y esquemas de comercio justo, en concordancia con las tendencias globales hacia el consumo de productos orgánicos certificados. Este escenario representa una oportunidad significativa para consolidar mercados estables, no solo para el café, sino también para otros cultivos, ya que las condiciones climáticas y geográficas de la provincia favorecen la producción orgánica.

Según APROCASSI, la producción anual promedio alcanza aproximadamente 650 000 sacos de café de 55,2 kg, lo que equivale a unas 35 880 toneladas métricas de café por año.

### **5.2.3. Capacidad del secador de café.**

De acuerdo con el estudio realizado en la provincia de San Ignacio, los establecimientos dedicados a la compra de café pergamino seco (c.p.s.) registran una recepción promedio de 140 sacos diarios de 70 kg durante los meses de mayor actividad cafetalera (junio a septiembre), alcanzando una producción aproximada de 1 176 toneladas métricas de c.p.s. en dicho periodo. Este volumen proviene de los distintos distritos y centros poblados que integran la zona cafetalera de la provincia.

Asimismo, se estima que la cantidad de cisco generada como subproducto del procesamiento asciende a 237 000 kg, mientras que el valor total de café pergamino producido en la provincia se aproxima a 1 413 toneladas métricas de c.p.s.

Acorde a la demanda que hay en la provincia de san Ignacio es que se consideró la capacidad del secador 0,75kg/min, considerando también la tecnología empleada, el costo de operación y costo total del equipo.

### 5.3. Condiciones óptimas del proceso de secado del café y tipo de secador utilizado

#### 5.3.1. Condiciones óptimas del proceso de secado de café

Cuando se habla de secar el café de forma artificial o secado por aire caliente el principal principio de estos equipos es secar el grano calentándolo a temperaturas no mayores a 50

°C, se aceptan 90 °C cuando el grano está muy húmedo. Existen cuatro tipos de secadores: Wiken, Guardiola, Torres y Moreira. Todos ellos se basan en el principio de aventar aire caliente al grano. Entre estos secadores uno de los más usados en el secador Guardiola, este secador consiste en un cilindro perforado en el cual se coloca el café al aire se hace circular desde el centro del cilindro a través de la masa de café, es un secador discontinuo cada carga se seca entre 30 y 36 horas, la capacidad es de 2.25 toneladas de café. [6]

El proceso de secado constituye una etapa fundamental dentro de la cadena productiva del café, debido a que el contenido de humedad del grano, comprendido entre 10 % y 12 %, representa un factor determinante para evitar su deterioro durante el almacenamiento [6]. Este procedimiento tiene como finalidad inhibir la germinación de las semillas, disminuir la humedad hasta niveles que impidan el desarrollo de hongos y evitar la degradación del producto. De esta manera, el secado contribuye a preservar el aspecto físico del grano, mantener sus propiedades alimenticias y valor nutritivo, así como conservar la viabilidad fisiológica de la semilla [6].

Se considera también una humedad que esta entre el 60 y 80 % de humedad

#### 5.3.2. Determinar el tipo de secador de café a utilizar

**Tabla 4** tipo de secadores

<b>Tipo de secador</b>	<b>Costo de construcción</b>	<b>Factor operación</b>	<b>Capacidad de secador (t/hora)</b>
secador se cascada	muy elevado	el operador solo interviene para encender y apagar	100t/h aprox.

secador estático con aire caliente	económico	se necesita mucho de la mano del operador	no específica
secador estático de cuartos inclinado	económico	se necesita mucho de la mano del operador	no específica
secador rotativo guardiola	Elevado pero por debajo de las secadoras de cascada.	el operador solo interviene para encender y apagar	2.25 t/30-36 h aprox.

**Fuente:** Autor Propio

Se concluye del cuadro que el secador a diseñar es del tipo guardiola, ya que este secador es el más usado en la industria cafetalera por muchos años, siendo este un equipo que cumple muy bien con las expectativas y sobre todo con los niveles de exigencia en el mercador internacional respecto a su calidad. Sabiendo que el equipo tiene un precio considerable respecto del secador estático con aire caliente y el secador estático de cuartos inclinados; pero este se justifica con la gran demanda que tiene el departamento de Cajamarca específicamente en la provincia de san Ignacio con 35,880 tn de café por cada año. Cabe recalcar que los secadores mencionados anteriormente son utilizados mayormente para el uso puntual de fincas eso justifica el bajo costo de construcción.

#### **5.4. Cálculo y selección de los componentes de la secadora de café**

Se analizará y trabajará las variables con la finalidad de determinar el caudal necesario para llevar a cabo la operación del secado y los esfuerzos a la que son sometidos la estructura y componentes del cilindro que contienen al grano de café

##### **5.4.1. Cálculo de flujo másico y caudal de aire en secado**

Para este cálculo se tuvo como referencia la revista Scientia et Technica número 35. [5]

Parámetros de entrada del sistema:

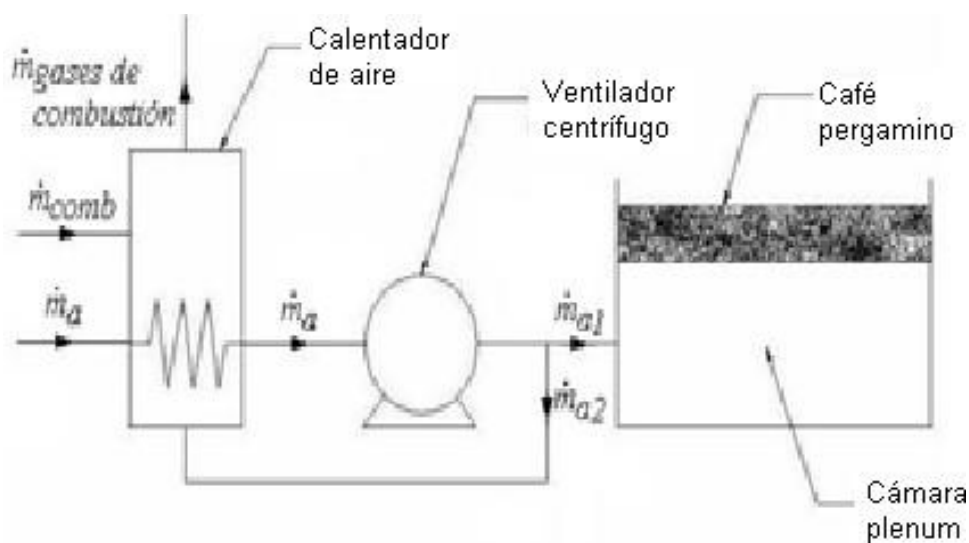
Masa de café: 15qq (680kg)

Contenido inicial de humedad: entre el 48% y el 55% Humedad relativa: entre 60% y el 80%

Tiempo de secado: 18 horas

Clase de combustible: Diesel B5-uv

**Ilustración 14** Esquema de una instalación típica de secado del café



**Fuente:** Cálculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café.

#### 5.4.2. Cálculo de flujo másico de aire que pasa a través del café

Para calcular el flujo másico de aire que pasa a través del ventilador se deben calcular y sumar el flujo másico de aire que pasa a través del café y el flujo másico de aire que se dirige hacia la cámara de combustión.

$$\dot{m} = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} \quad (1)$$

$\dot{m}_{a1}$ : Flujo de masa de aire para extraer la humedad del café.

$Q_w$ : Calor de vaporización ganado por el café.  $Q_{a1}$ : Calor cedido por el aire.

$n_s$ : Eficiencia de secado.

$\dot{m}_w$ : Flujo de masa de agua extraído del café.  $C_{pw}$ : Calor específico vapor de agua.

$\Delta T_w$ : Cambio de temperatura, etapa de secado en el café.  $h_{fg}$ : Entalpía vaporización de agua.

$C_{pa1}$ : Calor específico aire

atmosférico.  $\Delta T_{a1}$ : Cambio

de temperatura aire de

secado.  $W_0$ : Humedad

inicial del café.

$W_f$ : Humedad final del café.

$t$ : Tiempo que se hace pasar el aire por el café.

Calor de vaporización ganado por el grano

$$Q_w = n_s \cdot Q_{a1}$$

Sabiendo que:

$$Q_w = \dot{m}_w (C_{pw} \cdot \Delta T_w + h_{fg})$$

$$Q_{a1} = \dot{m}_{a1} \cdot C_{pa1} \cdot \Delta T_{a1}$$

Reemplazando obtenemos que:

$$\dot{m}_w (C_{pw} \cdot \Delta T_w + h_{fg}) = n_s \cdot \dot{m}_{a1} \cdot C_{pa1} \cdot \Delta T_{a1}$$

$$\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{m}_w (C_{pw} \cdot \Delta T_w + h_{fg})}{n_s \cdot C_{pa1} \cdot \Delta T_{a1}}$$

Flujo de masa de agua extraído del café pergamino

$$\dot{m}_w = \frac{m_{cafe} (W_0 - W_f)}{t}$$

Reemplazando (4) en (3)

$$\dot{m}_{a1} = \frac{m_{cafe} (W_0 - W_f) (C_{pw} \cdot \Delta T_w + h_{fg})}{t \cdot n_s \cdot C_{pa1} \cdot \Delta T_{a1}}$$

Las temperaturas a la entrada y a la salida para el aire y el agua en el café.

**Tabla 5** Temperaturas aire, café entrada y salida del secador

$T_{a1, \text{entrada}} (^{\circ}\text{C})$	50
$T_{a1, \text{salida}} (^{\circ}\text{C}):$	20
$T_{w, \text{entrada}} (^{\circ}\text{C}):$	20
$T_{w, \text{salida}} (^{\circ}\text{C}):$	35

**Fuente:** Autor Propio

$$\Delta T_w: 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{a1}: 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{w\text{promedio}}=27,5^{\circ}\text{C},$$

$$C_{p_w} = 1,8723 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \cdot \text{K}$$

$$h_{fg} = 2435,75 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$T_{a1\text{promedio}} = 37,5^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{a1}} = \frac{1,005 \text{KJ}}{\text{Kg}} \cdot \text{K}$$

$$m_{a1} = 0,56 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \quad \text{Flujo másico de aire necesario en el proceso de secado.}$$

Después de haber calculado el flujo másico de aire debemos calcular el caudal empleado en el proceso de secado.

$$\dot{m}_{a1} = \rho \dot{V}$$

$\rho$ : Densidad del aire en San Ignacio ;  $\rho = 1,083 \frac{Kg}{m^3}$

$\dot{V}$  : Caudal empleado en el proceso de secado.

$$\dot{V} = 0,52 \frac{m^3}{s}$$

### 5.4.3. Cálculo de flujo másico utilizado en la combustión

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{\text{com}} \cdot AC = \dot{m}_{\text{com}} \cdot ACT \cdot (1+E)$$

$\dot{m}_{\text{com}}$ : Flujo masa de combustible.

AC: Relación aire combustible.

ACT: Relación aire combustible teórico.

E: Exceso de aire.

Conociendo que para obtener 92,8 kg de c.p.s se obtiene 18,7 kg de cisco y 4,1 kg de subproductos.

Se concluye que para obtener 680 kg c.p.s se obtiene 137,03 kg de cisco.

Para el cálculo será necesario conocer el poder calorífico del diésel y del cisco respectivamente.

**Tabla 6** Poder calorífico de combustibles

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO ( $\frac{Kj}{Kg}$ )
Cascarilla de café	17936
Diésel	4700
ACPM	43475
Basura (celulosa)	19724
Gas natural	37188
Residuo de madera	15912
Bagazo de caña	8964

**Fuente:** Autor Propio

$$\Delta h_{\text{diesel}} = 4700 \frac{Kj}{Kg}$$

$$\Delta h_{\text{cisco}} = 17936 \frac{Kj}{Kg}$$

Igualamos la masa del diésel respecto del cisco, considerando los poderes caloríficos respectivamente

$$m_{\text{diesel}} = m_{\text{cisco}} \cdot \frac{\Delta h_{\text{cisco}}}{\Delta h_{\text{diesel}}}$$

$$m_{\text{cisco}} = 137,03 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{diesel}} = 52,29 \text{ Kg}$$

$$\dot{m}_{\text{diesel}} = \frac{m_{\text{diesel}}}{t} \quad ; \quad \dot{m}_{\text{diesel}} = 8,07 \cdot 10^{-4} \text{ Kg}$$

$$s = 2,9 \frac{Kg}{h}$$

ACT del diésel: 14,6

Determinando el flujo másico utilizado en la combustión:

$$\dot{m}_{a1} = 1,5 \cdot 10^{-4} \frac{Kg}{s}$$

Ahora se calcula el valor del flujo másico de aire que debe generar el ventilador ( $\dot{m}_a$ ).

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}$$

$$\dot{m}_a = 0,58 \frac{Kg}{s}$$

Para conocer el valor de caudal que debe generarse en el proceso de secado entregado por el ventilador se necesario dividir el flujo másico de aire que genera el ventilador entre la densidad de san Ignacio.

$$\dot{V}_{vent} = \frac{m\dot{a}}{\rho}$$

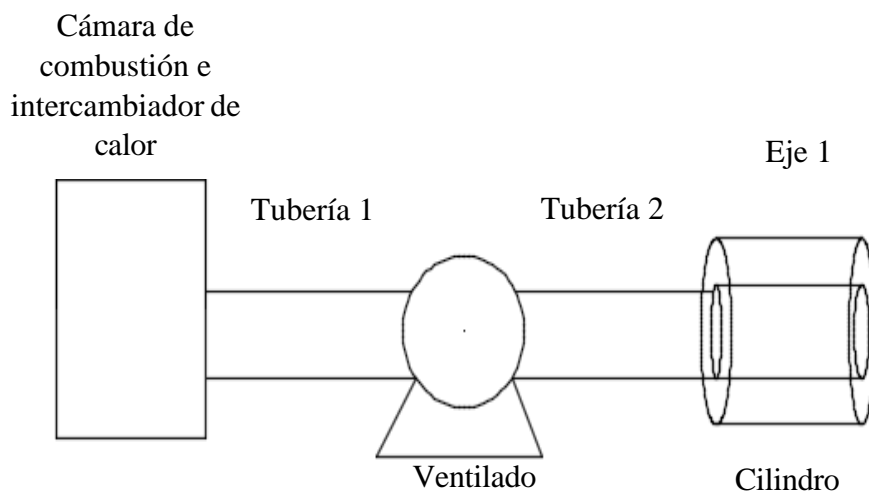
$\dot{V}_{vent}$  = Caudal de aire que debe generar el ventilador.

$$\dot{V}_{vent} = 0,47 \frac{m^3}{s}$$

#### 5.4.4. Cálculo de las pérdidas en la tubería

Debido a que se presentan pérdidas en el flujo de aire a causa de las longitudes de la tubería y accesorios es necesario calcularlas para poder determinar la potencia en el motor del ventilador

**Ilustración 15** Diagrama de componentes principales del sistema de secado



**Fuente:** Autor Propio

Considerando un diámetro interior de 8" (203,2mm)

Rugosidad relativa del tubo de 8" es de  $\frac{\epsilon}{d} = 0,0002$  (acero comercial)

Ahora calcaremos en valor de la velocidad y determinar el valor de viscosidad cinemática para una temperatura de secado ( $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Luego reemplazaremos en el número de Reynolds. En el diagrama de moody ubicaremos el número de Reynolds y la rugosidad relativa y obtendremos el factor de fricción ( $f$ ).

Cálculo de la velocidad del aire:

$$V = \frac{\dot{V}}{A}$$

Para:

A: área de la sección transversal.

$$V = 14,49 \frac{m}{s}$$

Calculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

D: diámetro de la sección transversal

$\nu$ : viscosidad cinemática a  $T(50^{\circ}\text{C}) = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{St}$

$$Re = 1,65 \cdot 10^{-5}$$

Ubicando en el diagrama de moody obtenemos:

$f$ : 0,02

Cálculo de las pérdidas a través de la tubería 2 y 3; ya que tienen la misma sección transversal.

$$h_f = \frac{fLV^2}{D2g}$$

Donde:

L: longitud de la tubería = 1m

g: aceleración de la gravedad =  $9,81 \frac{m}{s}$

$h_f = 2,12 \text{ m}$

$$W = \gamma h_f$$

$W_{2,3} = 10,7 \frac{N.m}{s}$  (pérdidas en la tubería 2 y 3)

Debido a que la tubería 1 servirá como eje del cilindro se perforará y por tema de diseño se asumirá unas pérdidas del 200% en esa tubería. Considerando una longitud del tubo de 1,578m.

$h_f = 1,67 \text{ m}$

$W_1 = 16,92 \frac{N.m}{s}$  (perdidas en la tubería 1)

Cálculo de las pérdidas a la entrada del cilindro por choque.

$K=45fT$

$fT: 0,014$

$K = 0,75$

$$h_t = K \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

$h_t = 6,74 \text{ m}$

$$W = \gamma h_f \cdot 2$$

$W_{choque} = 67,85 \frac{N.m}{s}$  (perdidas por choque)

A continuación, calcularemos las pérdidas que existen a través del paso de aire a través del café.

$$\sqrt[1,4793]{\frac{\Delta P}{L}} = \left[ \frac{\Psi/A}{9,523 - 0,0476M} \right]$$

Donde:

$\Psi$ : Caudal de aire,  $\left(\frac{m^3}{min}\right)$

A: are transversal al flujo de aire,  $(m^2)$

M: contenido de humedad del café (para efecto de diseño utilizaremos la humedad crítica 55%).

$\Delta P$ : caída de presión en secciones distantes en L (centímetros de agua)

L: función del espesor de la capa, (m)

$$\Delta P = 8,5750 \text{ cm c.a} = 840,95 \frac{N}{m^2}$$

$$W_{cilindro} = \Psi \Delta P$$

$$W_{cilindro} = 395,3 \frac{N.m}{s}$$

Considerando una eficiencia del 60 %

$$W_{cilindro} = \frac{W_{2,3} + W_1 + W_{choguel} \pm W_{cilindro}}{0,6}$$

$$W_{cilindro} = 817,9 \frac{N.m}{s} \approx 0,819 \text{ Kw}$$

Una potencia de 1,098 HP

#### 5.4.5. Selección del ventilador

Presión estática en los ductos

$$P_{\text{estatica ductos}} = \frac{W_{\text{tuberias}}}{\Psi}$$

$$P_{\text{estatica ductos}} = 201,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 20,57 \text{ mm c.a}$$

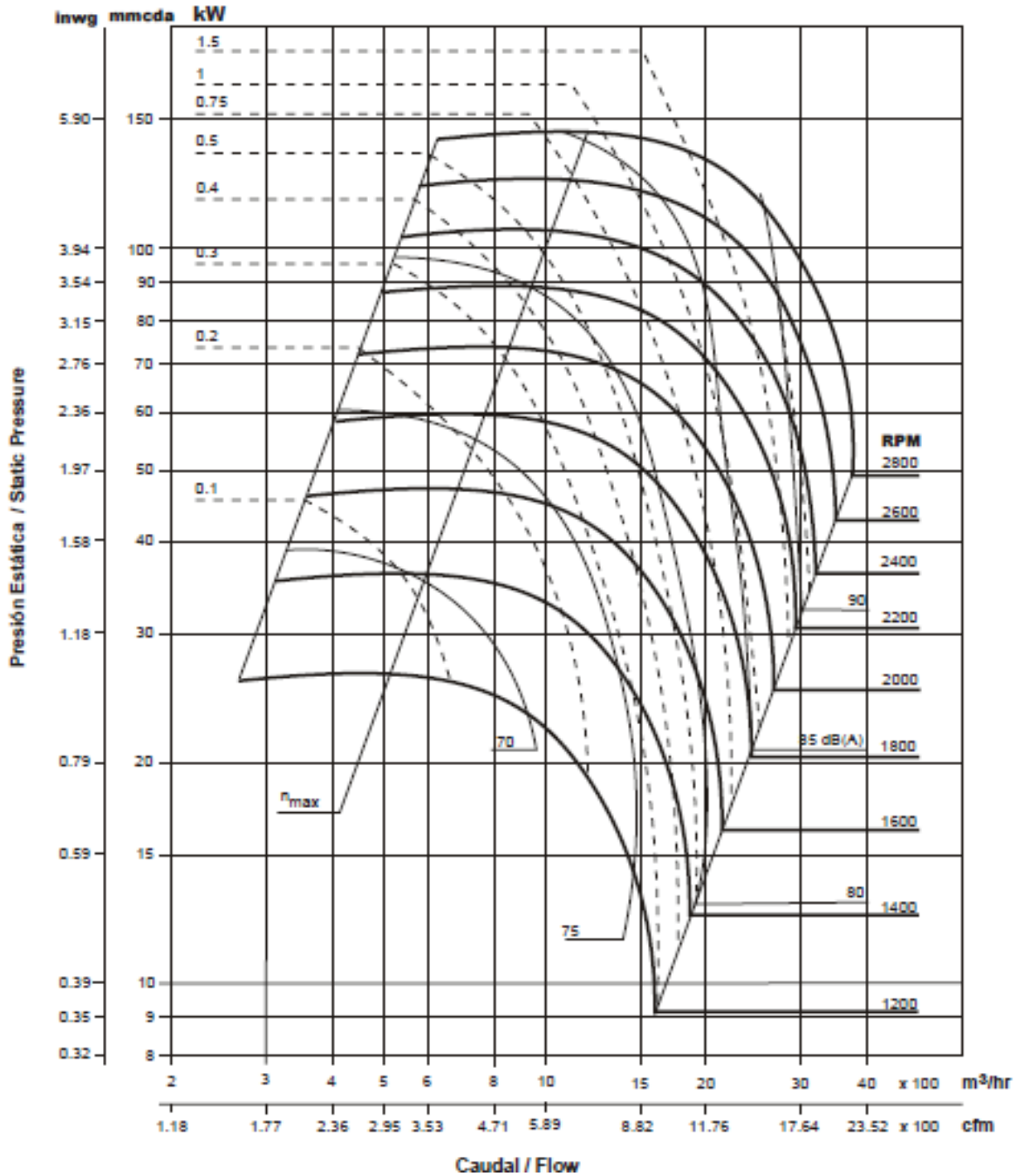
Caída de presión en secciones más el valor de Presión estática en los ductos (mm c.a )

$$P_{\text{estatica total}} = 85,75 + 20,57 \text{ mm c.a} = 106,3$$

$$\Psi_{\text{vent}} = 1,70 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

**Ilustración 16** Diagrama de presión estática y caudal para la selección de ventilador centrífugo

SA 9/4



Fuente: <http://www.mgasociados.com/solerypalau/sa.pdf>

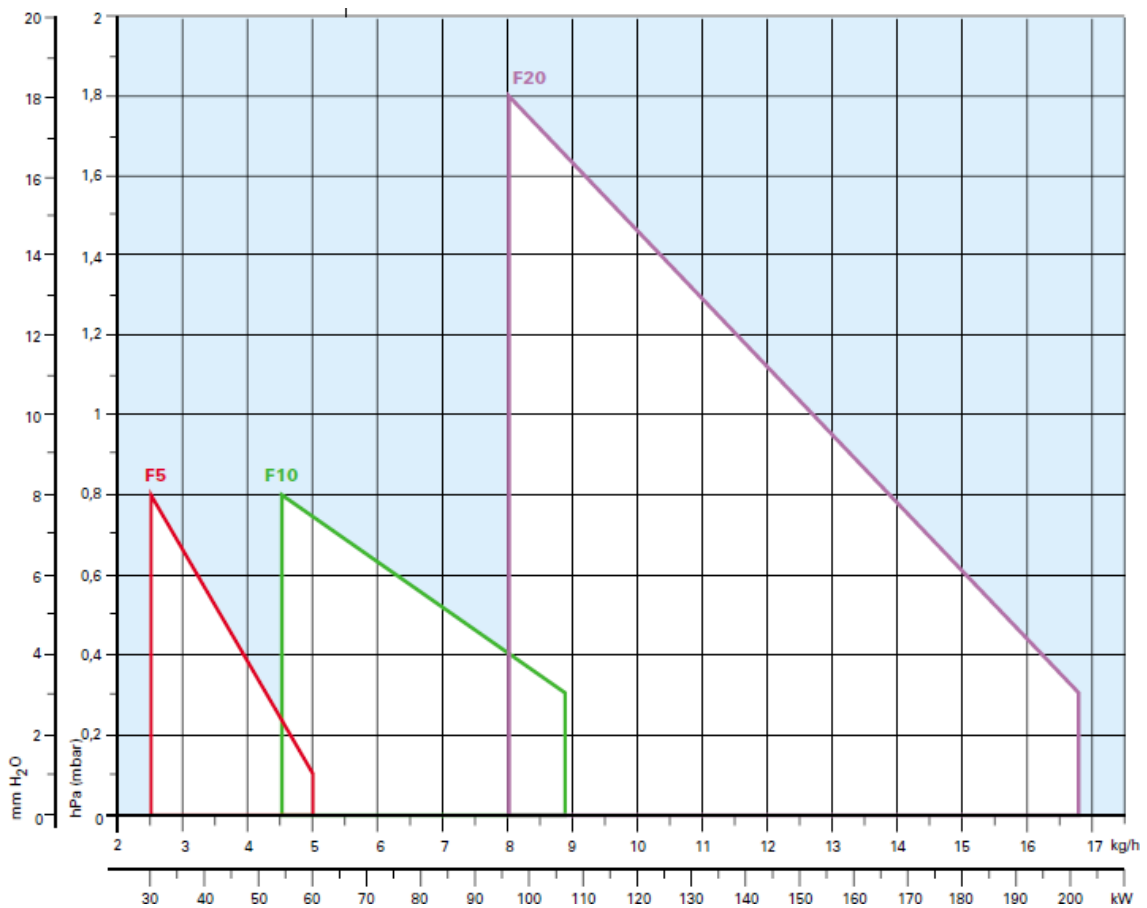
De acuerdo a las curvas de la figura se eligió un ventilador de 2400 rpm teniendo en cuenta los valores de presión estática y caudal. La potencia es de 0,819 Kw

#### 5.4.6. Selección del quemador Diésel

Teniendo en cuenta la cantidad de combustible necesario para quemar por cada hora es que se selecciona el quemador diésel  $\dot{m}_{\text{diésel}} = \frac{m_{\text{diésel}}}{t} = 2,9 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$

Se utilizará las gráficas para selección de quemadores RIELLO

**Ilustración 17** Diagrama de pérdidas por columnas de agua y flujo másico de combustible para la selección del quemador diésel



**Fuente:** <http://www.thermalcombustion.com/fichastecnicas/1-QuemadorDiesel.pdf>

Acorde con el valor de combustible necesario para la combustión se seleccionó el quemador tipo F5. se consideró que por tema de diseño este quemador trabajara durante 18 hr.

#### 5.4.7. Selección del intercambiador de calor

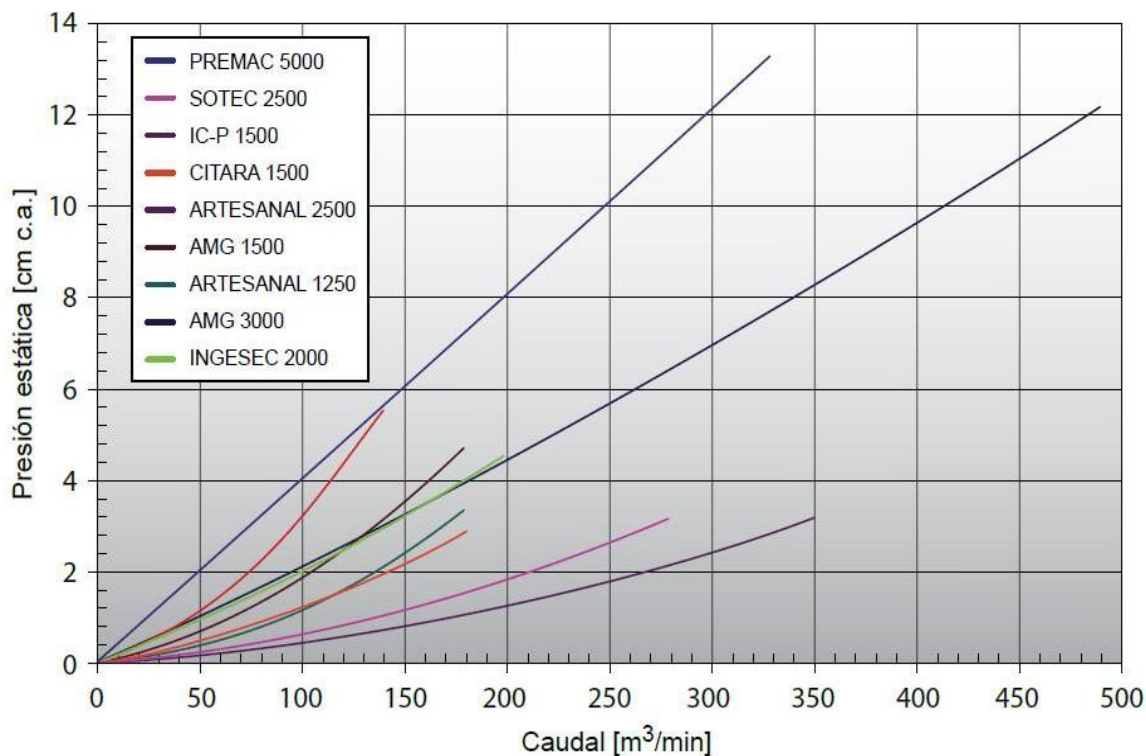
Para determinar el tipo de intercambiador de calor es necesario conocer la presión estática de esta y también el caudal neto del aire de secado.

$$\Delta p_i = 3E^{-5}Q^2 + 0.0165Q$$

$$\dot{V}_{vent} = 28,37 \frac{m^3}{min}$$

$$\Delta p_i = 0,49 \text{ cm c.a}$$

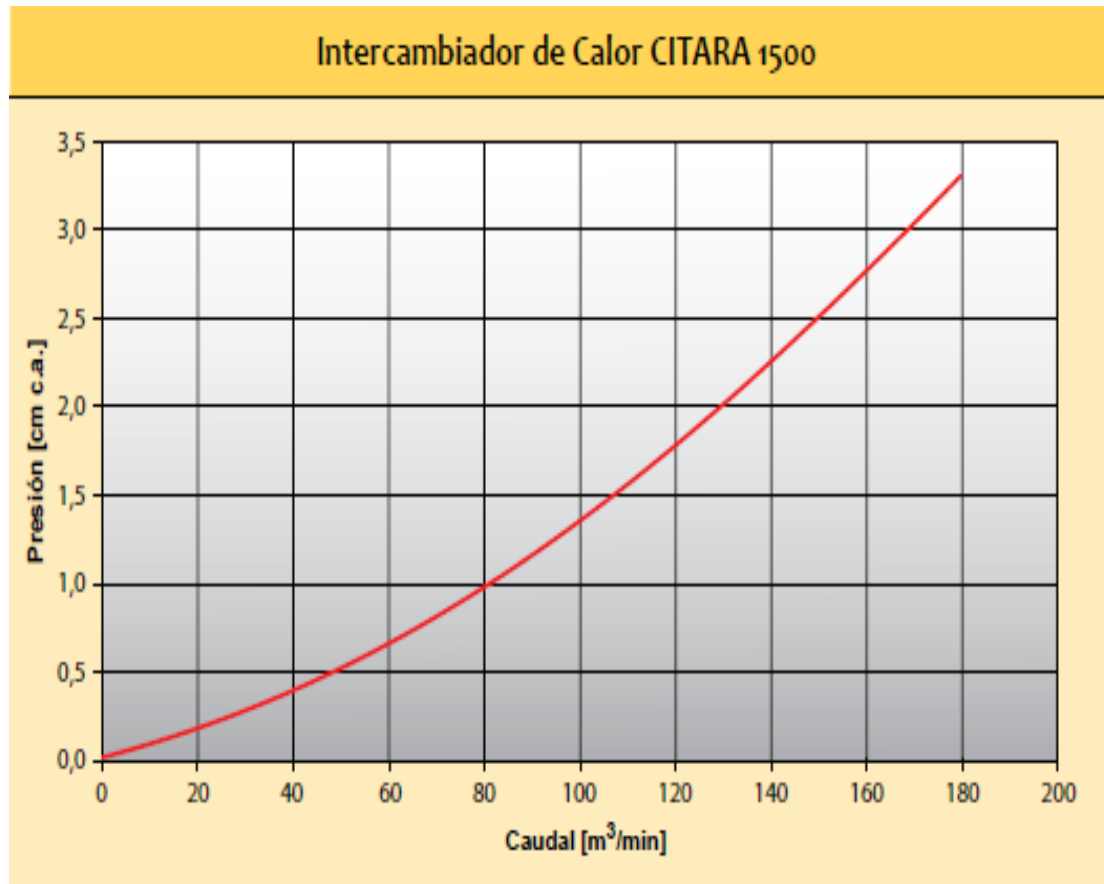
**Ilustración 18** Diagrama de presión estática y caudal del sistema para la selección del intercambiador de calor.



**Fuente:** Ventiladores para secadores de café (CENICAFE)

Después de haber determinado las pérdidas en la gráfica seleccionamos un intercambiador de calor CITARA 1500

**Ilustración 19** Diagrama de presión y caudal del intercambiador de calor



**Fuente:** Relación entre las pérdidas y el caudal que ingresa a la cámara de secado.

#### 5.4.8. Esfuerzo generado por el peso del dispositivo

Se realizarán cálculos justificativos de los materiales seleccionados.

Material Cilindro: D420/D420 - G

Material Cilindro (tapas): POLAC A36

Dimensiones del material para el cilindro:

Espesor de lámina: 4,4 mm

Largo: 2,40 m

Ancho: 1,20 m

Masa por plancha 60,51 Kg

Dimensiones del material para el cilindro (tapas):

Espesor de lámina: 5,9 mm

Largo: 2,40 m

Ancho: 1,20 m

Masa por plancha 60,51 Kg

Área total del cilindro

$$A = 2\pi r (h+r)$$

$$h: 1,578 \text{ m}$$

$$r: 0,55 \text{ m}$$

$$A = 7,35 \text{ m}^2$$

Área de tapas

$$A_t = 2\pi r^2$$

$$A_t = 1,901 \text{ m}^2$$

Cálculo del peso de los elementos involucrados

Masa de las tapas

$$M_{\text{tapa}} = \text{espesor (mm)} \cdot \pi r^2 \cdot \text{Índice de densidad}$$

$$\text{Índice de densidad: } 7,85$$

$$M_{\text{tapa}} = 44,01 \text{ Kg}$$

Teniendo en cuenta que son 2 las tapas

$$M_{\text{tapa}} = 88,03 \text{ Kg}$$

Masa del cilindro

$$M_{\text{cilindro}} = \text{espesor (mm)} \cdot \pi r^2 \cdot \text{Índice de densidad}$$

$$M_{\text{cilindro}} = 60,51 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa del café} = (680 \text{ Kg})$$

Calculo de los pesos

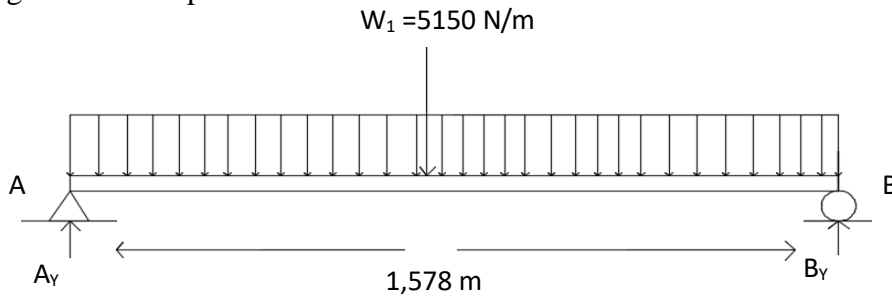
$$P_{\text{total}} = (M_{\text{cilindro}} + M_{\text{cafe}} + M_{\text{tapa}}) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \text{Kg}$$

$$P_{\text{total}} = 8127,97 \text{ N}$$

Carga respecto de la distancia del eje

$$W_1 = 5150,80 \text{ N/m}$$

Diagrama de cuerpo libre



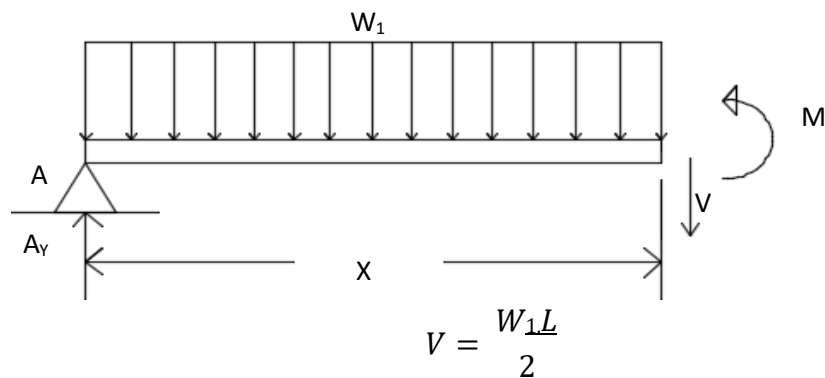
Sumatoria de momentos en B.

$$\sum M_B = 0 ; - A_y L + W_1 L \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$A_y = 4063,98 \text{ N}$$

Análisis de esfuerzo cortante en cualquier punto específico.

Límite de corte  $0 \leq X \leq L/2$



$$V = 4063,98 \text{ N}$$

$$\sum M_{\text{corte}} = 0$$

$$\frac{W_1 \cdot L \cdot X}{2} + \frac{W_1 \cdot X \cdot X}{2} + M = 0$$

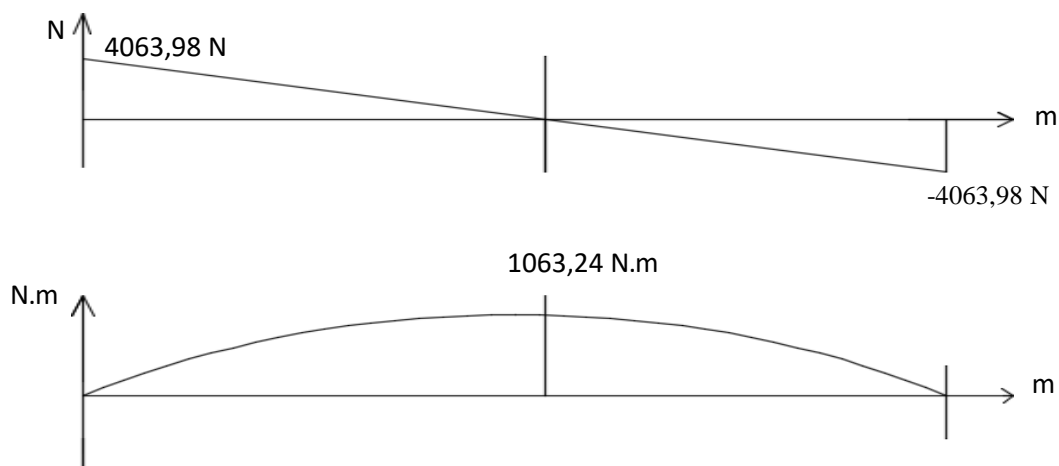
Para  $X = 0$ ;  $M = 0$

Si, para  $X = L/2$

$$\frac{W_1 \cdot L^2}{4} - \frac{W_1 \cdot L^2}{8} = \frac{W_1 \cdot L^2}{8} = M$$

$$M = 1603,24 \text{ N.m}$$

Diagrama de esfuerzo cortante



Esfuerzos en el eje

$$P_1 = 4063,98 \text{ N}$$

$$P_2 = 4063,98 \text{ N}$$

Carga que deberá soportar los rodamientos

Masa de eje: 42,55 kg/m

Longitud del eje: 1,798m

$$W_1: 417,41 \text{ N/m}$$

V: Volumen ocupado por el café sobre el eje

$$V = 0,058 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{café}} = 678,31 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

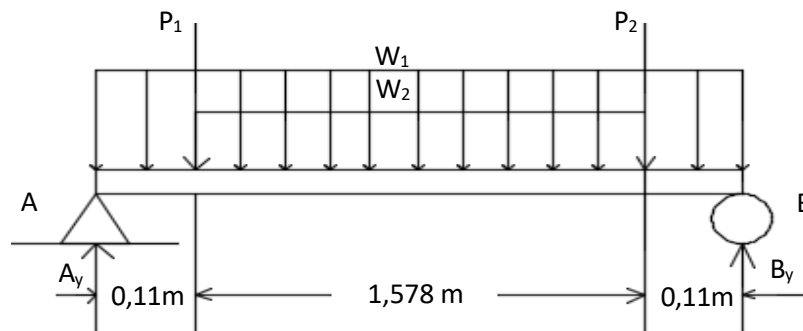
$$W_{\text{café sobre el eje}} = V \cdot \rho_{\text{café}} \cdot g$$

$$W_{\text{café sobre el eje}} = 385,94 \text{ N}$$

$W_2$  carga distribuida del volumen de café q actúa sobre el eje

$$W_2 = 214,65 \text{ N/m}$$

Diagrama de cuerpo libre del eje, este soportará al cilindro y su contenido.



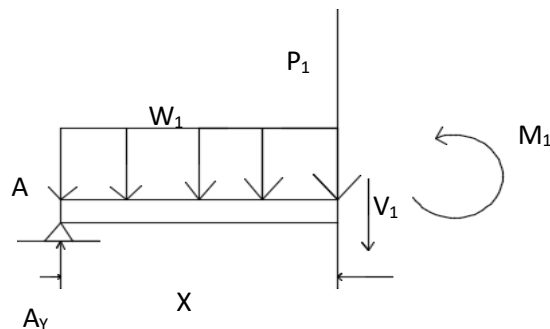
$$\sum M_B = 0 ; - A_Y L + P_1(1,589) + P_2(0,11) + W_1 L \left(\frac{L}{2}\right) + W_2(L-0,22) \frac{L}{2} = 0$$

$$A_Y = 4381,2 \text{ N}$$

$$B_Y = 4381,2 \text{ N}$$

Se realiza un corte donde se encuentran el rodamiento los cuales soportarán la fuerza transmitida por el eje, que genera el cilindro y su contenido.

Límite de Corte 1  $0 \leq x \leq 0,1$



$$V_1 + W_1 X + P_1 - A_Y = 0$$

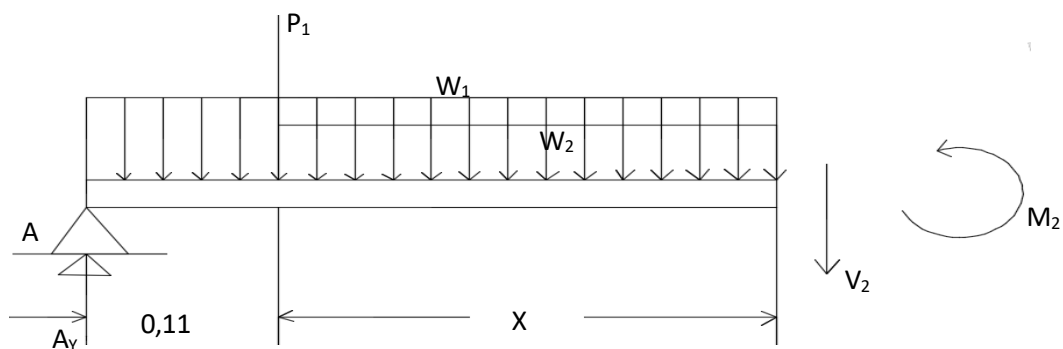
$$V_1 = 271,30 \text{ N}$$

$$M_1 = A_Y (X) - W_1 \frac{(X)^2}{2}$$

$$\text{Si } X=0 ; M=0$$

$$\text{SI } X=0,11 ; M=479,4 \text{ N.m}$$

Límite de corte 2  $0 \leq x \leq 0,6$



$$-A_Y + W_1(0,11+X) + P_1 + W_2(X) + V_2 = 0$$

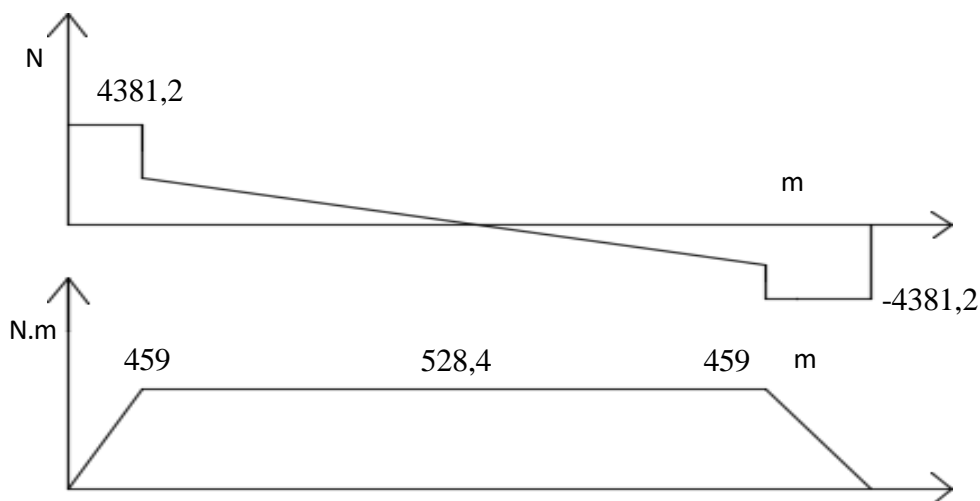
$$V_2 = -107,93 \text{ N}$$

$$A_Y (0,11+X) - W_1 \frac{(0,11+X)^2}{2} - P_1 (X) - W_2 \frac{X^2}{2} = M$$

Para:

$$x=0; M=459 \text{ N.m}$$

$$x=0,6; M=528,4$$



Analizaremos el esfuerzo que se genera en el eje para luego determinar si esta resistirá o no.

Para efectos de cálculo se considerará factor de seguridad (Fs) de 2.

$\sigma$  = Esfuerzo generado por el peso en el dispositivo

I = Momento de inercia en el cilindro.

$C$  = Distancia desde el centroide hasta la fibra más externa.

$F_s$  = Factor de seguridad.

$r_0$  = Radio inicial.

$r_1$  = Radio final

Características del eje

ASTM A-53 GR-B acero estructural, cedula 40

$$\sigma_{\text{eje}} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} ; 245,25 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = \frac{MC}{i} \text{ sistema}$$

$$\sigma = 3,60 \text{ Mpa} < \sigma_{\text{eje}}/F_s$$

$$\sigma = 7,2 \text{ Mpa}$$

$\sigma < \sigma_{\text{eje}}$  (queda demostrado que el material utilizado del eje soportará las cargas a las cuáles estará sometida)

#### 5.4.9. Selección de rodamientos

Para la selección de los rodamientos es necesario conocer la carga que esta estará sometida.

La carga a la cual estará sometida: **4063,98 N**

Para esta carga el rodamiento seleccionado es:

$$\text{Ø} = 254\text{mm}$$

#### 5.4.10. Selección de motor ductor.

Para el sistema de accionamiento se optará por la implementación de un motorreductor con transmisión por cadena, debido a su eficiencia en la transmisión de potencia y su facilidad de mantenimiento. Se estima que la velocidad de rotación del tambor debe mantenerse en un rango de 5 a 8 rpm, ya que el propósito es lograr una homogeneización uniforme de los granos durante el secado. Una velocidad superior podría generar impactos excesivos y ocasionar el deterioro físico del grano.

La selección de esta velocidad de giro se basa en referencias de modelos de secadoras rotativas tipo Guardiola, ampliamente utilizadas en países como México, Guatemala y Costa Rica, donde este tipo de equipos presenta altos niveles de aceptación y eficiencia operativa.

El reductor de velocidad cuenta con una caja de engranajes mecanizada en todas sus caras, lo que permite una aplicación versátil. La geometría optimizada de los engranajes garantiza un funcionamiento suave y silencioso, mientras que, para condiciones ambientales exigentes, el sistema puede suministrarse con doble sellado en el eje, incrementando su resistencia y durabilidad.

- Par nominal: 23 - 14000 Nm
- Potencia: 0.12 - 55 kw( se considera 3,72 kw)
- Relación: 0.8 - 13500

**Tabla 7** Contenido de componentes mecánicos

Ítem	Cantidad	Descripción
1	1	cilindro
2	1	Eje
3	1	Rodamiento
4	1	Motor reductor
5	1	Ducto de aire ventilador cilindro
6	1	Ducto de aire ventilador quemador
7	1	Ventilador centrífugo

**Fuente:** Autor Propio.

**Tabla 8** Componente de generación de calor

Ítem	Cantidad	Descripción
1	1	Quemador diésel

**Fuente:** Autor Propio.

**Tabla 9** Equipo de transferencia de calor

Ítem	Cantidad	Descripción
1	1	Intercambiador de calor

**Fuente:** Autor Propio

### 5.5. Descripción del Proceso

Se diseñó un secador de café mediante el diseño y selección de componentes con los cuales se trabajó en este proyecto.

- El proceso empieza cuando los granos de café entran en el tambor rotativo mediante una compuerta.
- El quemador Diésel se encarga de elevar la temperatura del conducto interno del intercambiador de calor.
- El intercambiador de calor absorbe aire del ambiente, y este pasa entre el conducto por donde salen los gases del quemador, elevando la temperatura del aire, y dejando los gases salir por la chimenea del intercambiador.
- El ventilador centrífugo extrae el aire caliente del intercambiador de calor y lo suministra al tambor rotativo mediante un conducto.
- El motoreductor mediante una faja, hace girar al tambor, haciendo que el aire fluya por todo el café.
- Una vez seco el café, es retirado por la compuerta por donde se introdujo al principio.

### 5.6. Propuesta sistema de control de caudal y temperatura

Con los datos obtenidos, se propuso realizar un sistema de control para el caudal y temperatura.

Se consideró 3 entradas para el sistema de control:

- Altura de la capa (h en m)
- Área transversal del secador (A en m<sup>2</sup>)
- Temperatura de referencia (T<sub>r</sub> en °C)

Y 2 salidas:

- Caudal de aire de referencia  $\Delta p$
- Temperatura del aire T<sub>s</sub>

### 5.6.1. Control de caudal

El caudal se referencia y el flujo másico se obtuvo en el apartado 3.4.1. Por ende, para el controlador se realizaron dos operaciones:

- Caudal de referencia
- Caudal medio por el sistema de realimentación

Se aplicará un control PI, cuya señal de salida está dada por la ecuación de transferencia

$$C_1(t) = K_p (e_1(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_1(t) dt)$$

O variable de Laplace

$$\frac{C_1(s)}{E_1(s)} = K \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Se optó por control de velocidad para un motor trifásico por variación de frecuencia, el cual recibe la señal  $C_1$  y entregada por una frecuencia  $f_1$  proporcional a este valor.

Así cuando el motor varíe su velocidad, la frecuencia del ventilador aumentará y disminuirá proporcionalmente. Esto también implica un cambio en la presión que se mide en la realimentación del sistema.

Un sensor de presión entrega el valor medio de salida y la convierte en equivalente de caudal a través de:

$$C_1(t) = K_p (e_1(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_1(t) dt)$$

El cual el caudal de realimentación se compara con el caudal de referencia en el controlador de caudal.

## 5.6.2. Control de temperatura

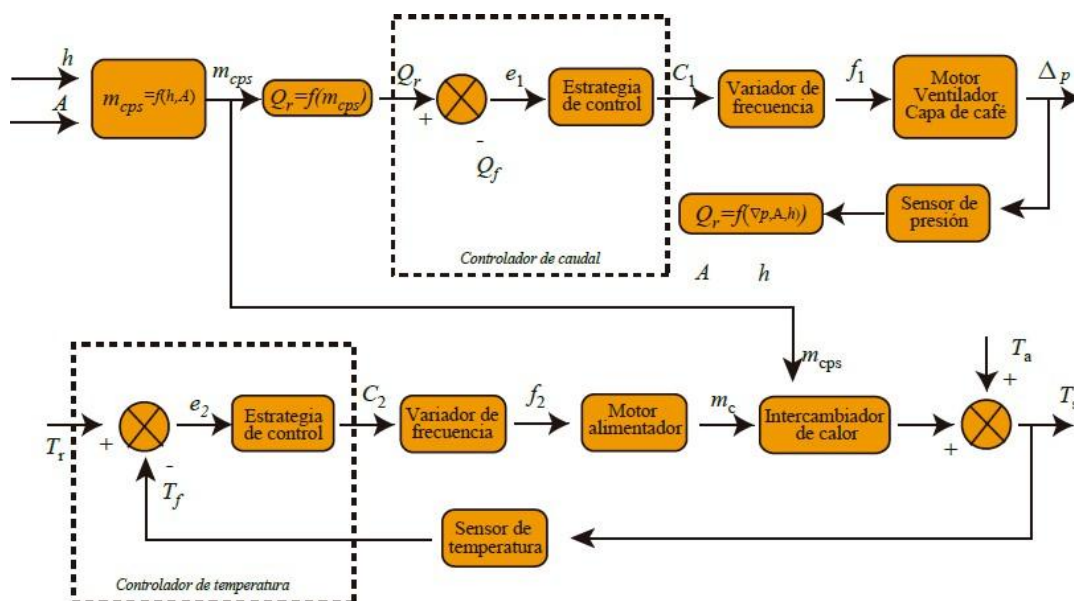
Para la regulación térmica del sistema, se implementó un control de temperatura por realimentación, en el cual la temperatura medida se compara con una temperatura de referencia. La diferencia entre ambas, denominada error de control, se utiliza como variable de ajuste dentro del sistema.

Se empleó un controlador proporcional–integral (PI), donde la señal de salida del controlador alimenta un variador de frecuencia encargado de modificar la velocidad de un motor trifásico. Este motor acciona el alimentador de combustible, regulando de manera proporcional el flujo másico de entrada al intercambiador de calor.

La temperatura de salida del sistema se mide mediante un sensor de temperatura que envía la señal de realimentación al controlador, permitiendo la compensación automática de las variaciones térmicas en tiempo real.

Todos los elementos mencionados se integraron en un diagrama de bloques funcional, representando el control simultáneo del caudal y la temperatura, con el fin de garantizar un proceso de secado estable, eficiente y automatizado.

**Ilustración 20** Diagrama de bloques de control simultáneo de caudal de aire y temperatura de secado de café



**Fuente:** <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061%2804%29281-296.pdf>

## VI. DETERMINAR LA INVERSIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA EL DISEÑO DE LA SECADORA DE CAFÉ.

### 6.1. Presupuesto.

**Tabla 10** Descripción de materiales y costo.

Descripción del material	Unidad(nuevos soles)	Cantidad	total
Plancha perforada LAC redondas D420/D420G(Aceros Arequipa)	450	2	900
Lámina POLAC A36 240mm x 120mm x 5,9mm(Aceros Arequipa)	400	2	800
Tubo de acero estructural ASTM A-53 GR-B cedula 40(ASM)	280	1	280
Quemador diésel(Riello)	12 000	1	12 000
Motor reductor (weg)	2 700	1	2 700
Intercambiador de calor(Citara 1500)	3 800	1	3 800
Ventilador centrifugo(Solerypalau)	2 450	1	2 450
Rodamiento(Herrera)	1 350	2	1 350
		total	24 280

**Fuente:** Elaboración propia.

Se tuvo en cuenta la combustible y energía eléctrica que se empleó en el proceso de secado durante 18 horas de operación.

#### Costo del combustible:

$$m_{\text{diésel}} = 52,29 \text{ Kg}$$

$$52,29 \text{ kg} = 52,29 \text{ l} = 13,81 \text{ gl}$$

Se concluyó que para el proceso de secado durante las 18 horas de operación se utilizaran 14 gl de diésel que equivales 150 soles.

**Costo de la energía eléctrica:**

Potencia de motor ventilador: 1,11 kw

Potencia del motor reductor: 1,49 kw

Potencia del motor quemador: 0,1 kw

Se concluyó que para el proceso de secado durante 18 horas de operación se utilizaran 48,6 kw, teniendo en cuenta el valor por kwh en la provincia de san Ignacio de 0,7582 nuevos soles. Siendo así el costo de la energía durante las 18 horas de operación de 36,85 nuevos soles.

**6.2. Cuadro resumen de energía eléctrica y combustible durante el tiempo de operación 18 horas.****Tabla 11** resumen de costo de energía

Item	Tipo	U.N	Cantidad	costo
1	Energía eléctrica	Kw	48,6	36,85
2	combustible	gl	14 gl	150,0

**Fuente:** propia

Se concluye que el monto a invertir durante las 18 horas de operación de la secadora de café es 186,85 nuevos soles siendo un monto bajo comparado con la cantidad de café que secará y monto que producirá. (Costo por quintal 400,8 nuevos soles)

## VII. RESULTADOS.

Los resultados de la presente investigación se realizaron comparando con otros secadores de café que existen en el mercado, esta tesis sigue los pasos de una metodología confiable para el adecuado diseño de la secadora de café.

Para el diseño del proceso de secado se obtuvo que el caudal necesario para el secado es de  $1,70 \times 10^3 \frac{m^3}{hr}$  con una temperatura de 50 °c y humedad relativa de 51,5%.

Para el secado de 15qq por 18 horas de operación según el cálculo realizado nos indica que se necesita de 13,81 gl de diésel B5-UV que equivale a 150 nuevos soles.

Para el secado 15qq por 18 horas la suma de potencia necesaria de los equipos es de 48,6 kw que equivale a 36,85 nuevos soles.

Para el diseño del cilindro (secador) se utilizó los siguientes materiales: Plancha perforada LAC redondas D420/D420G, Lámina POLAC A36 240mm x 120mm x 5,9mm, Tubo de acero estructural ASTM A-53 GR-B cedula 40(ASTM).

Para el ducto ventilador-cilindro y quemador-ventilador se utilizó un acero estructural (l=1m,  $\dot{O}=0,203m$ ) ASTM A-53 GR-B cedula 40.

Se seleccionó el ventilador centrífugo de la marca Solerypalau que trabaja a 2400 rpm y con un caudal de  $1,70 \times 10^3 \frac{m^3}{hr}$  y una presión estática de 106 mm c.a, el ventilador trabaja con un motor que cuenta potencia de 1,11 kw.

Se seleccionó un quemador diésel (riello) f5 que cumple con los parámetros necesarios para el proceso de secado.

Se seleccionó un motor reductor (weg) con una potencia de 1,49 kw.

Para el proyecto se necesitará una inversión de 24 280 nuevos soles.

## VIII. CONCLUSIONES

Se determinó la capacidad del secador de café es de 15qq y la cantidad de café que se produce en la provincia de san Ignacio.

Se seleccionó el tipo de secador rotativo (guardiola) porque es el secador más usado en la industria cafetalera, siendo este un equipo que cumple muy bien con los niveles de exigencia del mercado internacional.

Se calculó y seleccionó un ventilador centrífugo, quemador diésel, intercambiador de calor y motor reductor.

Se analizó que para el diseño del proyecto se requiere de una inversión de 24 280 nuevos soles.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. I. A. B. & E. A. S. CUADROS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SILO SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ CON LA UTILIZACIÓN DE UN QUEMADOR DUAL DE COMBUSTIBLE, BUCARAMANGA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, 2005.
- [2] D. A. E. OCAMPO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN SECADOR, PEREIRA RISARALDA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2010.
- [3] J. E. GRÁNDEZ VILLALOBOS, DISEÑO DE UN HORNO ECOLÓGICO PARA EL SECADO DE GRANOS DE CAFÉ PERALES HUANCARUNA S.A.C., CHICLAYO: UNIVERSIDAD PEDRO RUIZ GALLO, 2015.
- [4] A. B. A. S. C. ROBIEL IGNACIO, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SILO SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ CON LA UTILIZACIÓN DE UN QUEMADOR DUAL DE COMBUSTIBLE,» UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, BUCARAMANGA, 2005.
- [5] C. A. O. B. LOAIZA, CALCULO DEL FLUJO MÁSIKO Y CAUDAL DE AIRE PARA UN VENTILADOR, PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA , 2007.
- [6] I. J. G. SÁNCHEZ, DISEÑO Y PROTOTIPO DE SECADOR DE CAFÉ EXCELSO AUTOMATIZADO CON SISTEMA SCADA, PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2014.
- [7] A. Y. T.....6. E. ÇENGEL, TERMODINÁMICA., MEXICO, 2009.

## X. ANEXOS

## Anexo: 1 Catálogo descriptivo de quemador diésel

Model		▼ F5	▼ F10	▼ F20
Setting		One stage		
Servo-motor	type	--		
	run time	s		
Heat output	kW	30 - 60	54 - 107	95 - 202
	Mcal/h	25,8 - 51,6	46,4 - 92	81,7 - 173,7
	kg/h	2,5 - 5	4,5 - 9	8 - 17
Working temperature	°C min./max.	0/40		
Net calorific value	kWh/kg	11,8		
	kcal/kg	10.200		
Viscosity at 20°C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	4 ÷ 6		
Pump	type	R.B.L.		
	output	kg/h at 12 bar		
Atomised pressure	bar	7 - 15		
Fuel temperature	max. °C	50		
Fuel pre-heater		NO	NO	NO
Fan	type	forward tilted blades		
Air temperature	max. °C	40		
Electrical supply	Ph/Hz/V	1/50/230 ±10%		
Aux. electrical supply	Ph/Hz/V	--		
Control box	type	530 SE		
Total electrical power	kW	0,13	0,17	0,33
Total rated current	A	0,75	0,85	1,5
Protection level	IP	40		
Motor electrical power	kW	0,1	0,14	0,30
Rated motor current	A	0,75	0,85	1,5
Motor start current	A	3	3,5	6
Motor protection level	IP	20		
Ignition transformer		incorporated in the control box		
Operation		intermittent (at least one halt every 24 h)		
Sound pressure	dB(A)	60	66	73
CO Emissions	mg/kWh	<60		
Grade of smoke indicator	N° Bach.	<1		
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Emissions	mg/kWh	<10 AFTER THE FIRST 20s		
NO <sub>x</sub> Emissions	mg/kWh	<250		
Directives		89/336/EEC, 73/23/EEC, 98/37/EEC, 92/42/EEC		
Conforming to		EN 267		
Certifications		-	--	-

Fuente: <http://www.thermalcombustion.com/quemadores-industriales/quemadores-diesel-html/>

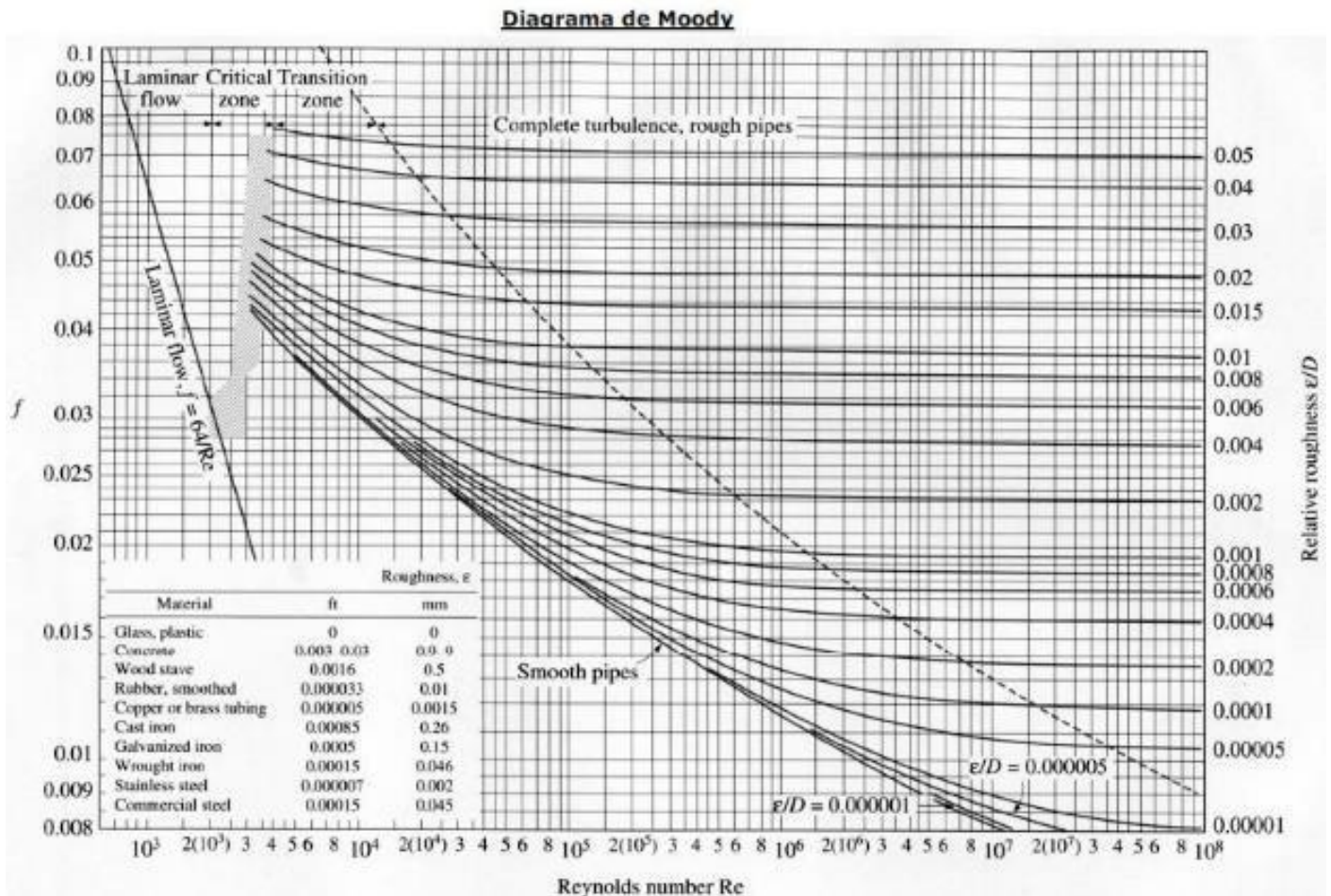
## Anexo 2: selección del motor reductor



Diseño UNIBLOCK para fijación por las patas y por la brida. Caja de engranajes mecanizada en todos los lados para aplicación universal. La geometría optimizada de los engranajes, aquí y en todos los otros modelos, resulta en un funcionamiento excepcionalmente suave. Para condiciones ambientales especiales, el reductor puede ser suministrado con dos sellados en el eje.

Fuente: [http://www.weg.net/catalog/weg/KR/es/Reductores-e-Motorreductores/MAS/Motorreductores/c/GLOBAL\\_GEARBOXES\\_MAS\\_GEARED\\_MOTORS](http://www.weg.net/catalog/weg/KR/es/Reductores-e-Motorreductores/MAS/Motorreductores/c/GLOBAL_GEARBOXES_MAS_GEARED_MOTORS)

## Anexo 3: diagrama de moody



Fuente: Robert mott.

#### Anexo 4: Obtención de densidad

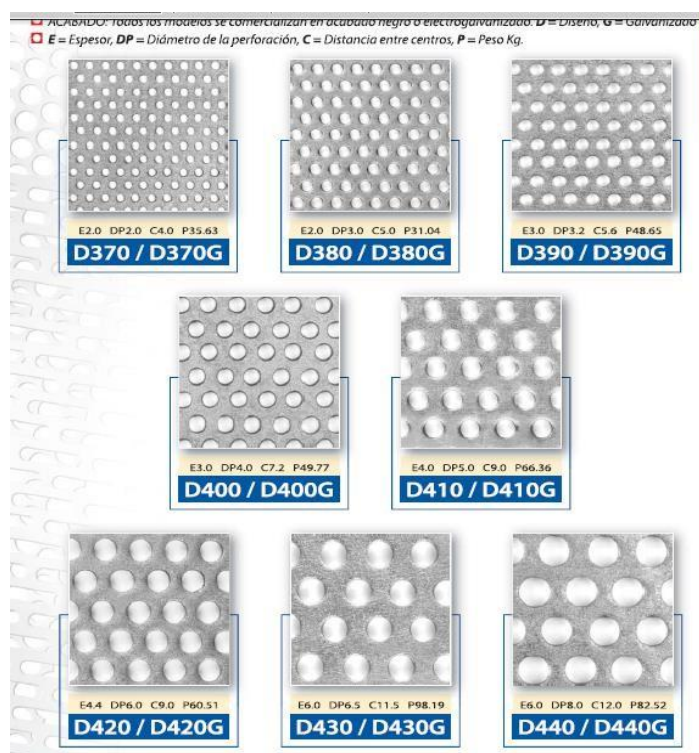
**Tabla 2.** Variación de la densidad, temperatura y presión con la altitud en una atmósfera estándar

Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (hPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
0	15.0	1013.2	1.225
100	14.3	1001.3	1.213
200	13.7	989.5	1.202
300	13.0	977.73	1.190
400	12.4	966.11	1.179
500	11.7	954.6	1.167
1000	8.5	898.7	1.112
2000	2.0	794.9	1.007
3000	-4.5	701.1	0.909
4000	-11.0	616.4	0.819
5000	-17.5	540.2	0.736

Fuente:

[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf)

#### Anexo 5 Elección de plancha perforada



Fuente:

<http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/CATALOGO-PLANCHAS-PERFORADAS-LAC.pdf>

## Anexo 6 Obtención de entalpia

Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpia, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Líqu. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Líqu. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Líqu. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111

Fuente: ÇENGEL, A Yunus. Termodinámica. Traducido por González Virgilio. 6 ed. México: MacGraw Hill, 2009

## Anexo 7 obtención de tubos

1/2	0.840	21.3	40	2.77	1.27	700	49.2
			80	3.73	1.62	850	60.0
3/4	1.050	26.7	40	2.87	1.69	700	49.2
			80	3.91	2.20	850	60.0
1	1.315	33.4	40	3.38	2.50	700	49.2
			80	4.55	3.24	850	60.0
1 1/4	1.660	42.2	40	3.56	3.39	1300	91.0
			80	4.85	4.47	1900	133.0

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		NSCHEDULE	PESO TEÓRICO		PRESIÓN DE PRUEBA	
	pulg.	m.m.		m.m.	n°	m.m.	kg / m
1 1/2	1.900	48.3	40	3.68	4.05	1300	91.0
			80	5.08	5.41	1900	133.0
2	2.375	60.3	40	3.91	5.44	2500	175.0
			80	5.54	7.48	2500	175.0
2 1/2	2.875	73.0	40	5.16	8.63	2500	175.0
			80	7.01	11.41	2500	175.0
3	3.500	88.9	40	5.49	11.29	2500	175.0
			80	7.62	15.27	2500	175.0
3 1/2	4.000	101.6	40	5.74	13.57	2370	166.0
			80	8.08	18.63	2800	196.0
4	4.500	114.3	40	6.02	16.07	2210	155.0
			80	8.56	22.32	2800	196.0
5	5.563	141.3	40	6.55	21.77	1950	137.0
			80	9.53	30.94	2800	196.0
6	6.625	168.3	40	7.11	28.26	1780	125.0
			80	10.97	42.56	2740	192.0
8	8.625	219.1	40	8.18	42.55	1570	110.0
			80	12.70	64.64	2430	170.0
10	10.750	273.0	40	9.27	60.29	1430	100.0
			80	15.09	95.97	2320	162.0
			STD.	9.27	60.31	1430	100.0
12	12.750	323.8	40	10.31	79.70	1340	94.0
			80	17.48	132.04	2270	159.0
			STD.	9.53	73.88	1240	87.0

Fuente <http://www.pramec.com/>

## Anexo 8 obtención de planchas laf

electrodomésticos, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
ASTM A 1008/A 1008M Tipo B.

**PRESENTACIÓN:**

- **ACABADO:** las planchas y bobinas laminadas en frío son aceitadas, con bordes de laminación.
- **EMPAQUETADO PLANCHAS:** se entregan en paquetes de 2 TM.
- **BOBINAS:** se entregan con peso mínimo de 5 TM aproximadamente.

**DIMENSIONES NOMINALES:**

PLANCHAS LAMINADAS EN FRÍO (PDLAF A 1008 TB)(*)	BOBINAS LAMINADAS EN FRÍO (BLAFA 1008 TB)
0.30 x 905 x 2,400 mm	0.30 x 905 mm
0.40 x 905 x 2,400 mm	0.40 x 905 mm
0.50 x 1,200 x 2,400 mm	0.50 x 1,200 mm
0.55 x 1,200 x 2,400 mm	0.55 x 1,200 mm
0.60 x 1,200 x 2,400 mm	0.60 x 1,200 mm
0.70 x 1,200 x 2,400 mm	0.70 x 1,200 mm
0.75 x 1,200 x 2,400 mm	0.75 x 1,200 mm
0.80 x 1,200 x 2,400 mm	0.80 x 1,200 mm
0.85 x 1,200 x 2,400 mm	0.85 x 1,200 mm
0.90 x 1,200 x 2,400 mm	0.90 x 1,200 mm
1.00 x 1,200 x 2,400 mm	1.00 x 1,200 mm
1.15 x 1,200 x 2,400 mm	1.15 x 1,200 mm
1.20 x 1,200 x 2,400 mm	1.20 x 1,200 mm
1.45 x 1,200 x 2,400 mm	1.45 x 1,200 mm
1.50 x 1,200 x 2,400 mm	1.50 x 1,200 mm
1.90 x 1,200 x 2,400 mm	1.90 x 1,200 mm

(\*) valores referenciales.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
Según JIS G3141 Clase A.

ESPESOR NOMINAL (mm)	TOLERANCIA DE ESPESOR (mm)		TOLERANCIA		CAMBER (máx)
	ANCHO (mm)		ANCHO (mm)	LONGITUD (mm)	
0.30	± 0.04	± 0.04	+ 7 / - 0	(Aplicable solamente para planchas)	2 mm en cualquier longitud de 2000 mm  (Aplicable solamente para planchas)
0.40 - 0.55	± 0.05	± 0.05			
0.60 - 0.75	± 0.06	± 0.06			
0.80 - 0.90	± 0.06	± 0.07			
1.0 - 1.2	± 0.07	± 0.08			
1.45 - 1.5	± 0.09	± 0.10			
1.9	± 0.11	± 0.12			

**TOLERANCIAS DE APLANADO:**

ANCHO NOMINAL A (mm)	DIMENSIONES EN (mm)		
	CURVADO	ONDULADO EN EL BORDE	ONDULADO EN EL CENTRO
a < 1000	12.0	8.0	6.0
1000 ≤ a ≤ 1250	15.0	9.0	8.0

Fuente:

<http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/HT-LAMINADO-FRIO.pdf>

VENTILADORES CENTRÍFUGOS DE SIMPLE ASPIRACIÓN, DESENFUMAGE  
Serie CXRT



Ventiladores centrífugos de simple aspiración, desenfumage, capacitados para trasegar aire a 400°C/2h, fabricados en acero galvanizado, rodete soldado de álabes hacia atrás, protegido con pintura epoxi, equilibrado dinámicamente y motor trifásico aislado del flujo de aire, IP55, Clase F.

**Motores**

De 2, 4, 6 ó 8 polos, según versiones. Modelos de 2 velocidades (2/4, 4/6, 4/8, 6/8 y 6/12).

Tensión de alimentación.

Trifásicos 230/400V-50Hz, hasta 3 kW 400V-50Hz, para potencias superiores y modelos de 2 velocidades

[Ver cuadro de características].

**Otros datos**

Capacitados para trasegar aire a 120°C en continuo.

Los motores pueden situarse a derecha o izquierda. La voluta se puede orientar, en cada caso, para ofrecer hasta 6 combinaciones distintas.

Orientación estándar: RD 0.

Bajo demanda:

Orientaciones LG.

Modelos con carcasa protegida con pintura epoxi anticorrosiva.

**Aplicaciones específicas**



Homologado según norma EN12191-3  
Certificación nº 9423-CP-052601

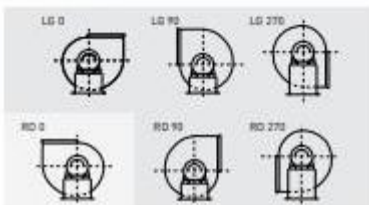


**Voluta estanca**  
montada mediante el sistema Pittsburg, que garantiza la estanqueidad.



**Rodete soldado, equilibrado dinámicamente**  
Rodete soldado de álabes hacia atrás, protegido con pintura epoxi, equilibrado dinámicamente según norma ISO 1940, para reducir el ruido y evitar vibraciones.

**ORIENTACIONES**



Orientación estándar: RD 0. El resto de orientaciones se fabrican bajo demanda.

TECHNICAL DATA LEAFLET

LIGHT OIL

## RIELLO 40 F Series

One Stage Light Oil Burners

F5	30 +	60 kW
F10	54 +	107 kW
F20	95 +	202 kW



## Anexo 11 Motoreductor

