



# **Implementación de prototipo a escala de secador mecánico de café pergamino en la finca Las Palmas vereda San Antonio del Pescado (Garzón – Huila)**

**Cristian Andrés Bustos Osso.  
Dumar Alexander Valencia Monsalve.**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2021



# **Implementación de prototipo a escala de secador mecánico de café pergamino en la finca Las Palmas vereda San Antonio del Pescado (Garzón – Huila)**

**Cristian Andrés Bustos Osso.  
Dumar Alexander Valencia Monsalve.**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Magister Elcy Patricia Prado Fajardo

Línea de Investigación:

Desarrollo Tecnológico.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021



## *Dedicatoria*

*A nuestros colegas y familiares.*

*“Cuando tenía cinco años, mi madre siempre me decía que la felicidad era la clave de la vida. Cuando fui a la escuela, me preguntaron ‘qué quería ser de mayor’. Yo respondí que ‘feliz’ y ellos me dijeron que no entendí la pregunta. Yo les dije que no entendía la vida”  
John Lennon.*

*La vida es una oportunidad, benefíciate de ella. La vida es belleza, admírala. La vida es un sueño, alcánzalo. La vida es un desafío, enfréntalo. La vida es un juego, juégalo.  
Madre Teresa.*



# Agradecimientos

De: Dumar Alexander Valencia Monsalve

Hago esta dedicatoria primero que todo a Dios nuestro señor, por permitirme llegar hasta este punto de mi anhelada carrera. "... Gracias Dios... por darme fuerzas para esto".

A mis padres. María Elena y Héctor. Gracias por esas palabras que me animaron y me fortalecieron cuando sentí derrumbarme.

A mi hermano Héctor Rodolfo. Gracias porque creíste en mí, por tu apoyo económico y porque eres un hombre maravilloso, "este triunfo es de los dos".

A mi hermana Dannia. Por el cariño y las palabras llenas de esperanza que siempre me diste.

A mi esposa Isabel y mis hijos. Gracias por hacer más llevaderas esas noches interminables y porque me animaron durante los muchos kilómetros que recorrí desde mi casa hasta la universidad.

En especial a mi gran amiga Tatiana León. Quiero decirte "por fin lo logre". Y esto también te lo debo a ti, eres una mujer maravillosa y gracias por darme ánimo para esto.

A mi compañero de tesis, por compartir conmigo este reto en el final de nuestra carrera, eres un hombre admirable.

A los compañeros de la Universidad, Neifry, Jhon Keny, Cristhian, Juan Carlos, gracias porque me demostraron afecto y porque sé; que se preocuparon por mi bienestar.

A la universidad Antonio Nariño, Ing. Martha Solano, Ing. Yeni Durán, Ing. Juan Gonzalo Ardila, por todo el conocimiento y la comprensión que nos brindaron. Gracias por transmitir tan invaluable conocimientos con tan excelente profesionalismo.

A la directora de tesis, por habernos orientado en la realización del proyecto, por sus aportes y por la confianza y ese entusiasmo motivador.

A nuestro gran amigo Reinel, por acompañarme en este proceso de investigación, gracias por la confianza y el entusiasmo motivador.

De: Cristian Andrés Bustos Osso

En primer lugar, darle gracias a Dios por darme la vida, la sabiduría y la oportunidad para estar donde estoy ahora.

A mis padres y hermanos(a) porque de una u otra manera estuvieron en este proceso apoyándome y dándome los mejores consejos para avanzar en esta carrera con humildad, esfuerzo, dedicación, principios éticos y morales.

A los parientes Y amigos que me apoyaron, que estuvieron pendientes para que diera lo mejor de mí en este camino, a mi esposa que ha estado a mi lado brindándome su cariño y con sus palabras fortaleciéndome para seguir adelante.

A mis compañeros con los que inicié y otros que se sumaron en el camino, con quienes compartí momentos alegres, tristes y conocimientos que nunca olvidare, a los profesores porque transmitieron mucho más que solo un currículo, como lo fueron anécdotas experiencias de la vida; A la vicedecana de la facultad porque estuvo pendiente de nuestro proyecto de hacer las cosas bien.

Por último a la Universidad Antonio Nariño por darme la oportunidad de ingresar a la facultad de ingeniería electromecánica y así cumplir uno de mis sueños.

## Resumen

Tradicionalmente, el café se seca en pisos de cemento con exposición directa al sol ocupando grandes áreas, por lo cual, posteriormente se crearon sistemas bajo techo como las casas-helba y las marquesinas, a estos le siguieron los equipos mecanizados, sin embargo, implican el uso de materias primas para combustión y se incurre en un elevado consumo de energía eléctrica y mano de obra.

Este proyecto propone la construcción de un prototipo a escala de secador mecánico de café pergamino húmedo para evaluar la conservación de sus propiedades organolépticas procurando la disminución del consumo energético y la emisión de partículas contaminantes. La metodología a desarrollar es de tipo experimental con un prototipo operacional donde se aplicarán las fases de diseño propuestas por (Parra Coronado, Roa Mejía, Oliveros Tascón, & Saenz Uribe, 2017) que son: análisis del problema y diseño conceptual, el paso a paso incluye las etapas de construcción, ensamble, puesta en marcha, validación y resultados del prototipo elaborado en la finca las palmas de la vereda de San Antonio del pescado (Garzón – Huila).

Una vez finalizadas las pruebas de validación se determina que es de fácil operación, no utiliza materias primas para generar calor y mediante las fórmulas matemáticas expuestas se pueden corroborar los rendimientos económicos del secado. Se hace énfasis que el diseño hace parte de un proceso investigativo que promueve futuras fases para el mejoramiento de sus características físicas y mayor capacidad de secado.

**Palabras clave: (Secado, humedad, eficiencia, uniformidad, ingeniería).**

## Abstract

Traditionally, coffee is dried on cement floors with direct exposure to the sun occupying large areas, later indoor systems such as helba-houses and canopies were created, these are followed by mechanized equipment, however, they involve the use of raw materials for combustion and a high consumption of electrical energy and labor is incurred.

This project proposes the construction of a scale prototype of a mechanical wet parchment coffee dryer to evaluate the preservation of its organoleptic properties, ensuring the reduction of energy consumption and the emission of polluting particles. The methodology to be developed is experimental with an operational prototype where the design phases proposed by (Parra Coronado, Roa Mejia, Oliveros Tascón, & Saenz Uribe, 2017) will be applied, which are: analysis of the problem and conceptual design, the step to This step includes the stages of construction, assembly, start-up, validation and results of the prototype elaborated in the Las Palmas farm in the San Antonio del Pesa village (Garzón - Huila).

Once the validation tests have been completed, it is determined that it is easy to operate, does not use raw materials to generate heat and the economic performance of drying can be corroborated by means of the mathematical formulas set out. It is emphasized that the design is part of an investigative process that promotes future phases to improve its physical characteristics and greater drying capacity.

**Keywords: (Drying, moisture, efficiency, uniformity, engineering).**

# Contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del problema</b> .....	<b>5</b>
1.1 Justificación.....	6
1.2 Objetivos .....	7
1.3 Alcance .....	8
1.4 Metodología .....	8
1.5 Análisis del problema y diseño conceptual .....	10
1.6 Funcionamiento de un secador mecánico .....	11
1.7 Requerimientos .....	14
<b>2. Diseño del Prototipo</b> .....	<b>17</b>
2.1 Definición de los prototipos .....	19
2.2 Sistema de funcionamiento .....	19
2.3 Tipo de Materiales.....	26
2.4 Consideraciones en el proceso de secado .....	28
2.5 Elaboración de planos.....	29
<b>3. Construcción y ensamble</b> .....	<b>33</b>
<b>4. Diseño del mecanismo de control</b> .....	<b>39</b>
4.1 Determinación de humedad .....	39
4.2 Medición de temperatura.....	40
4.3 Velocidad del aire.....	40
<b>5. Validación del prototipo</b> .....	<b>41</b>
5.1 Parámetros del secador mecánico .....	44
5.2 Resultados del secado .....	44
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>47</b>
6.1 Conclusiones.....	47
6.2 Recomendaciones.....	49
<b>A. Anexo: Termo Higrómetro</b> .....	<b>50</b>

<b>B. Anexo: Medidor De Humedad.....</b>	<b>51</b>
<b>C. Anexo: Anemómetro .....</b>	<b>52</b>
<b>D. Anexo: Unidad Compresora .....</b>	<b>53</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>55</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1.6:</b> Cámaras de secado con capa fija.....	12
<b>Figura 2-1.6:</b> Sistema de secado bandejas de café.....	12
<b>Figura 3-1.6:</b> Humedad de equilibrio.....	14
<b>Figura 4-1.7:</b> Defectos en el secado del café.....	15
<b>Figura 5-2:</b> Esquema de secador solar directo.....	18
<b>Figura 6-2:</b> Esquema de secado artificial o mecánico.....	18
<b>Figura 7-2.5:</b> Diseño del prototipo.....	29
<b>Figura 8-2.5:</b> Diseño externo prototipo.....	30
<b>Figura 9-2.5:</b> Diseño lateral derecho del prototipo.....	31
<b>Figura 10-3:</b> Cubículo de secado.....	33
<b>Figura 11-3:</b> Estructura con ambos cubículos.....	34
<b>Figura 12-3:</b> Parte frontal interna del secador.....	35
<b>Figura 13-3:</b> Parte frontal externa del secador.....	35
<b>Figura 14-3:</b> Parte lateral derecha del secador.....	36
<b>Figura 15-3:</b> Parte trasera del secador.....	36
<b>Figura 16-3:</b> Sistema de funcionamiento.....	37
<b>Figura 17-4:</b> Medidor de humedad PM450.....	39
<b>Figura 18-5:</b> Secador mecánico en funcionamiento.....	42
<b>Figura 19-5:</b> Puesta en marcha del equipo, medición de la temperatura ambiente. ...	42
<b>Figura 20-5:</b> Medición de velocidad y temperatura del aire antes de la puesta en marcha del equipo.....	43
<b>Figura 21-5:</b> Medición de aire y temperatura.....	43

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-2.2:</b> Característica de las tuberías.....	20
<b>Tabla 2-2.2:</b> Datos del calor específico y la densidad del aire.....	23
<b>Tabla 3-2.2:</b> Interpolación para hallar Cp.....	24
<b>Tabla 4-2.2:</b> Interpolación para hallar densidad.....	24
<b>Tabla 5-2.3:</b> Materiales para el prototipo.....	27
<b>Tabla 6-5.1:</b> Especificaciones de medición del secadero.....	44

<b>Tabla 7-5.2:</b>	Tiempos y características del secado. ....	45
<b>Tabla 8-5.2:</b>	Datos técnicos del prototipo.....	46

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
$A$	Área del secador	$m^2$
$Amp$	Amperios	A
$\Delta p$	Pérdida de presión	$cm^3$
$\Delta T$	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$
$C_p$	Calor específico	J
$dm^3$	Decímetro cúbico	$dm^3$
$h$	Altura de la capa	m
$h_1$	Humedad inicial	%
$h_2$	Humedad final	%
$L$	Calor latente	J
$\mathcal{M}$	Humedad del grano, en porcentaje base húmeda	%
$\theta$	Temperatura del aire, en grados Celsius	$^{\circ}C$
$\rho$	Densidad	$Kg/m^3$
$P_{agua}$	Peso del agua	Kg
$P_{mh}$	Peso total del café húmedo	Kg
$\varphi$	Humedad relativa, decimal	%
$Q_{aire}$	Calor de aire	J
$Q$	Caudal de aire que cruza una capa de café	$m^3 \quad m^3 \cdot min^{-1}$

## Abreviaturas

### Abreviatura Término

<i>Adm.</i>	Administración
<i>Agr.</i>	Agricultura
<i>Ing.</i>	Ingeniería
<i>Mcia.</i>	Mercancía
<i>Afl.</i>	Afluente
<i>b.h.</i>	Base húmeda
<i>Can.</i>	Canal
<i>Carb.</i>	Carbón
<i>Che</i>	Contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, % base seca
<i>cm</i>	Centímetro
<i>Cral. Térm.</i>	Central térmica
<i>Constr.</i>	Construcción
<i>Coop.</i>	Cooperativa
<i>Corp.</i>	Corporación
<i>Cte.</i>	Corriente

<i>Crol.</i>	Control
<i>CPh</i>	Café pergamino húmedo
<i>CPs</i>	Café pergamino seco
<i>Des.</i>	Desagüe
<i>h</i>	Entalpia
<i>ha</i>	Hectárea
<i>Invro.</i>	Invernadero
<i>Lím.</i>	Límite
<i>Long.</i>	Longitud
<i>m</i>	Metro
<i>msnm</i>	Metros sobre nivel del mar
<i>P</i>	Presión del aire
<i>Prod.</i>	Producto
<i>Pulg</i>	Pulgadas
<i>q</i>	Energía
<i>Q</i>	Calor del aire
<i>v</i>	Volumen
<i>W</i>	Humedad del aire

# Introducción

El café es la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua. En Colombia se cultiva desde el siglo XVIII; es decir, hace 300 años aproximadamente. En el año 1835 se exportaron los primeros sacos producidos en el país y paulatinamente se convirtió en uno de los principales productos de exportación. Desde entonces se ha buscado la manera más eficiente para extraer la humedad del café a porcentajes estandarizados (13% de humedad final) que permiten el almacenamiento del grano conservando su olor y sabor (Cafe de Colombia., 2018).

Desde finales del mes de noviembre del año 2019 se evidenció la manera atípica en la cual el precio del café sobrepasó niveles históricos en los mercados internacionales, (un millón cuatrocientos mil pesos por carga de 125 kg) representando un buen momento para los productores directos del grano en Colombia y generando un afán comprensible entre los caficultores por vender su producto a un buen precio (Comité Editorial Cenicafé, 2015).

Regularmente el precio de una carga de café ha oscilado desde los últimos diez años entre los \$ 600.000 y \$ 900.000, a esto se suma que el café pergamino también se puede comercializar húmedo, pero su precio se reduce hasta en un 60%, debido a que el café se debe someter a un proceso de secado para reducir la humedad, entonces pierde hasta un 40% de su peso inicial (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019). La humedad del café se debe reducir desde el 55% hasta quedar en 13% para evitar ser atacado por hongos, insectos, moho y que a su vez se conserve mientras llega a su destino en otros países.

Tradicionalmente, el café se seca en pisos de cemento con exposición directa al sol donde el grano debe extenderse en capas de 3 cm de espesor que se deben estar moviendo constantemente de acuerdo a la temperatura, para que el secado sea uniforme (Instituto Tecnológico Metropolitano, 2009). Este método ocupa grandes áreas y su éxito depende de las condiciones climáticas por lo cual se utilizan costales, bandejas, pisos de cemento u otros más tecnificados como lo son las casas-helba y las marquesinas con estructuras

de hierro o de madera con cubiertas de plástico o vidrio, gavetas de madera móviles, sin embargo, el secado al sol es el método tradicional más empleado en fincas pequeñas o zonas de baja producción que ofrecen resguardo de las lluvias pero que limitan el área sobre el cual debe extenderse el grano, limitando la capacidad para el proceso de secado.

Los equipos mecanizados surgen para llevar a cabo la labor del secado, los más interesados en estas tecnologías son los comerciantes e intermediarios que se dan a la tarea de comprar el café mojado a un menor precio para luego secarlo con estos equipos y obtener una utilidad. Este trabajo se realiza por transferencia de calor con el uso de combustibles (Coronado Parra, Mejía Roa, & Oliveros Tascón, 2008).

En Colombia el secado solar y el mecánico han sido tradicionalmente las dos formas de reducir la humedad, aunque el primer método puede tener una duración de entre 7 a 15 días (Arismendy, 2016), dependiendo de las condiciones atmosféricas, con el agravante de que la época de cosecha coincide con la temporada de lluvias, incrementando el tiempo de secado como ocurre en la finca Las Palmas donde el café verde se vende al 2 X 1 es decir, dos cargas por el precio de una, esto se debe al descuento por la humedad y los defectos que pueda presentar el grano en ese momento de la venta (Cenicafe, 2018). En la finca las palmas para el año 2020 se recolectaron 21 cargas de café verde, equivalente a 2 hectáreas productivas (hectárea = 10.000 m<sup>2</sup>) con una producción de 10,5 cargas por hectárea, es decir 2.625 Kg de CPh que al momento de comercializarse con la humedad inicial se reduce la utilidad en 10% de lo que representaría el café seco, esto equivale a \$1.572.000 creando la necesidad de desarrollar un prototipo de secado en la finca Las Palmas.

Para elaborar ese modelo es indispensable profundizar el estado del arte y función de los secadores y sus distintas alternativas para el proceso de reducción de la humedad, esta actividad se realiza en la propiedad con una duración de 6 meses en su formulación, construcción, ensayo y validación.

El siguiente proyecto se enfoca por parte de los estudiantes en dirección a un prototipo innovador que no requiera el uso de combustibles fósiles, evitando la emisión de partículas contaminantes al medio ambiente, aprovechando el calor que genera la compresión del aire para secar su propio café sin que sufra las consecuencias adversas del secado a la intemperie, principalmente en la falta de uniformidad y el control del porcentaje de

humedad, así como un mayor rendimiento térmico y menores emisiones contaminantes ( Industrias Asociadas S.A.S, 2021).

La metodología a desarrollar es de tipo experimental mediante un sistema operacional de secado mecánico, se resalta que el prototipo es construido en la finca las palmas y se encuentra en fase de análisis, esto se debe a que el ensamble muestra las diferentes mejoras que se pueden llevar a cabo en otras fases del proyecto investigativo del prototipo.

En este sentido el sistema podrá aprovechar en un 90% la reacción positiva de la entalpía del aire caliente por toda la superficie del grano durante el tiempo adecuado antes de ser expulsado a la atmosfera, adicionalmente, se busca reducir el consumo de energía eléctrica, con mecanismos que permitan determinar las variables que inciden en el proceso de secado garantizando que no se alteren las características del producto final, ayudando al productor a recuperar el 10% de utilidad en el proceso.



# 1. Planteamiento del problema.

El secado del café es más complejo que el de cualquier otro tipo de granos, ya que su contenido de humedad inicial es mucho más alto que el que se debe extraer en las leguminosas y los cereales, esto, para poder obtener la misma cantidad de producto seco (Arizmendi, 2016), y para lograr este propósito de manera exitosa es necesario tener en cuenta la medición de las variables que intervienen en el proceso para no afectar la calidad que identifica el café colombiano.

Los caficultores pequeños están ubicados en zonas lejanas y reducidas sin posibilidad de realizar el proceso de secado, ni los recursos para secar su propio café, adicional a ello sufren las consecuencias adversas del secado a la intemperie donde se produce moho, oxidación del café y diversas características que alteran la calidad del mismo. Cuando el campesino vende el café húmedo renuncia a la mitad de la utilidad que este representa, porque el precio del café en esta condición es inferior, es decir, dos cargas por el precio de una, esto se debe al descuento por la humedad y los defectos que pueda presentar el grano en ese momento de la venta (Cenicafe, 2018).

Durante el desarrollo de esta consulta, se coincide con la temporada de cosecha de café en el sur del Huila especialmente en el municipio de Garzón, y se puede constatar que los volúmenes de café mojado que se presencian en los puntos de acopio de intermediarios y comerciantes de café son muy grandes (900.000 Kg en la zona urbana), por tanto, estos deben trasladar el producto mojado a zonas lejanas para su proceso de secado y evitar así el deterioro prematuro del grano de café.

Una vez cosechado el grano de café, no es conveniente dejarlo por más de 48 horas con su contenido inicial de humedad (52 al 56% bh), o almacenarlo con una humedad superior al 13% bh (causado por un proceso de secado deficiente), debido al riesgo de que pueda ser atacado por hongos y contaminado con micro toxinas.

## 1.1 Justificación

Este proyecto se enfocó en dirección de esos caficultores pequeños que no tienen el espacio ni los recursos para secar su propio café y adicional a ello, sufren las consecuencias adversas del secado a la intemperie. Con el fin de aportar alternativas para superar algunas desventajas de los mecanismos de secado, principalmente la falta de uniformidad en el porcentaje de humedad final, así como un mayor rendimiento térmico y menores emisiones de partículas contaminantes al medio ambiente.

La necesidad de implementar un prototipo innovador a escala de secador mecánico de café pergamino sin que interfieran las condiciones climáticas y que a su vez permita reducir el uso de combustibles sin afectar las condiciones organolépticas que caracterizan el café colombiano. En este sentido se requiere que el sistema pueda aprovechar el 90% de la reacción positiva de la entalpía del aire caliente por toda la superficie del grano, durante el tiempo adecuado antes de ser expulsado a la atmosfera, adicionalmente, se busca evitar el uso de combustibles fósiles y utilizar únicamente energía eléctrica, con mecanismos que permitan determinar las variables que inciden en el proceso garantizando que no se alteren las características del producto final, contemplando que se encuentra en fase de investigación.

En vista de esta necesidad que ha existido en el proceso de secado del grano, decidimos plantear una solución a este problema con el desarrollo de un prototipo de secador de café a escala en la finca las Palmas, para estudiar la posibilidad a futuro de suplir los requerimientos del secado. Este prototipo busca evaluar las formas de mejorar los tiempos de secado del producto y la cantidad de la producción e incrementar la utilidad de la cosecha al obtener un mejor precio y peso real en la venta.

## 1.2 Objetivos

### Objetivo General

Implementar un prototipo a escala de secador mecánico de café pergamino húmedo para evaluar la conservación de sus propiedades organolépticas, procurando la disminución del consumo de energía y emisiones de partículas contaminantes.

### Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos de un secador mecánico que facilite la reducción de la humedad del grano de café en menor tiempo.
- Diseñar un prototipo a escala de un secador mecánico basado en un sistema eficiente y amigable con el medio ambiente.
- Evaluar la capacidad máxima del prototipo de secador, teniendo en cuenta el tamaño del grano de café a través de cribas, garantizando el cuidado de sus propiedades organolépticas.
- Realizar el registro y seguimiento de mediciones de caudal y temperatura del aire, que permitan definir un punto de equilibrio y una constante en la uniformidad del secado.

## 1.3 Alcance

Con el prototipo a escala se busca determinar los requerimientos específicos para un secado óptimo del café pergamino, utilizando un diseño ajustado a las necesidades de la producción de la finca las palmas, reduciendo los porcentajes de contaminación en cuanto a secaderos con combustión. Para ello se utilizará un juego de cribas (mallas metálicas) para el tamizaje de los granos de café con el fin de dar uniformidad y eficiencia al secado, conservando sus cualidades organolépticas, finalmente este proceso se ejecutará en la finca Las Palmas vereda San Antonio del Pescado del municipio de Garzón, donde se hará seguimiento a las mediciones de caudal y temperatura del aire para conocer los estándares del equipo y determinar la eficacia y eficiencia del mismo, con el propósito de implementar un equipo de tamaño real que pueda ser utilizado inicialmente en la finca, abriendo una oportunidad económica a los caficultores de las zonas aledañas para obtener mejores ingresos, ser competitivos en tiempo y calidad, independiente de las condiciones climáticas en tiempos de cosecha, ofreciendo al comercio un producto garantizado y confiable.

## 1.4 Metodología

La metodología a implementar es de tipo experimental mediante un prototipo operacional de secado mecánico en este proceso de origen cuantitativo de 4 fases o etapas que son: 1-Análisis del problema y diseño conceptual, 2-Diseño al detalle, 3-Construcción y ensamble, 4- Validación del prototipo.

- ◆ Etapa 1-Análisis del problema y diseño conceptual:

En esta etapa se hará una delimitación del problema, refiriéndonos a una descripción básica exploratoria, donde se tendrá como punto de partida la humedad del café después del proceso de lavado, presentando en ese momento una humedad del 45% al 55% en cada grano de café; y, adicional a ello, establecer un comparativo con tecnologías actuales, para así comprender cuál es el mejor concepto.

En esta etapa se proponen soluciones teniendo en cuenta el tamaño del grano, la capacidad de materia prima en el prototipo, el seguimiento de las mediciones de caudal, los grados de temperatura que se utilizarán, el tiempo de duración del proceso, el consumo de energía durante la actividad y los costos del prototipo referente a otros productos del comercio; dichas soluciones comprenden aspectos relacionados con sistema o principio de operación propuesto, mecanismo de accionamiento, volumen procesado entre otros; se selecciona la propuesta más conveniente para su desarrollo en la siguiente fase.

◆ Etapa 2 - Diseño al detalle:

La etapa 2 contiene un estudio detallado de la solución que comprende la definición de elementos y sistemas de funcionamiento, y el desarrollo de cálculos y parametrizaciones de los elementos; por otro lado, se realiza la selección de materiales más conveniente para el proyecto en función del cumplimiento de normas alimentarias para el diseño de equipos industriales. El último componente de esta etapa incluye la elaboración de planos para la debida construcción de la solución propuesta.

◆ Etapa 3 - Construcción y ensamble:

Esta etapa comprende la compra de materiales en función de especificaciones resultantes de la etapa 2 para empezar con la fabricación de la estructura y mecanismo, además de los instrumentos requeridos para la evaluación del proceso, en el prototipo de secador mecánico, posteriormente se realizará la compra de los elementos y la contratación de procesos de manufactura y por último se ensamblará todo y se le hará la puesta a punto para así verificar un funcionamiento correcto.

◆ Etapa 4- Validación del prototipo:

En esta etapa se recolectan datos relacionados con cada uno de los factores que se tuvieron en cuenta en la etapa 1, se registrarán datos mediante instrumentos en cada ensayo reduciendo el margen de error hasta lograr una aproximación al resultado esperado, que espera una humedad del 13% para un almacenamiento idóneo del café.

Luego de esto se realizarán las comparaciones en cuanto a eficiencia, eficacia y ecología del prototipo, respecto a los secaderos presentes en el mercado cafetero.

## **1.5 Análisis del problema y diseño conceptual**

La necesidad que ha existido en el sector caficultor es el secado del grano, una solución al problema es desarrollar un prototipo de secado a escala, estudiando la posibilidad de suplir los requerimientos de este importante sector de la economía nacional. El prototipo busca evaluar las formas de mejorar calidad y cantidad de café en el secado e incrementar los ingresos de la finca las palmas al obtener un mejor precio vendiendo su café seco.

El café es cosechado habitualmente y si se deja por más de 48 horas con su contenido inicial de humedad (52 al 56% bh), o cuando se almacena con contenidos de humedad superiores al 13% bh, el riesgo de ser atacado por hongos y de ser contaminado con micro toxinas es muy elevado. La cosecha cafetera es en época de mucha pluviosidad dejando mayor acumulación de humedad en los granos, desvalorizando principalmente al pequeño y mediano caficultor al estar mucho tiempo en contacto con el agua, sufriendo respiración en los granos que luego culminan en poros, de igual forma aparecen los hongos y la proliferación de broca.

Los procesos económicos usados para secar el café se basan en la implementación de energía solar y movimiento de aire por diferencia de densidad, sin embargo, estos métodos además de requerir grandes áreas para el secado también están sujetos a las variables climáticas mencionadas junto con una mayor mano de obra (Bastidas, 1990).

Estos sistemas están ligados de manera inevitable al uso de combustibles como el carbón mineral, los combustibles derivados del petróleo y subproductos del proceso como el cisco o cascarilla del café, este último es considerado el combustible más económico pero que conlleva fuertes impactos ambientales especialmente por la dañina emisión de partículas contaminantes. (González-Salazar, Sanz-Uribe, & Oliveros-Tascón, 2010).

A partir de estos datos expuestos por los centros de investigación del comité de cafeteros, se puede evidenciar que los secadores con diversos tipos de combustión dejan huella de

carbón perdiendo eficiencia, debido a que el secado del grano no logra ser uniforme si su carga o combustible no es el adecuado para el secador, adicionalmente transmiten olores y sabores no benéficos al grano.

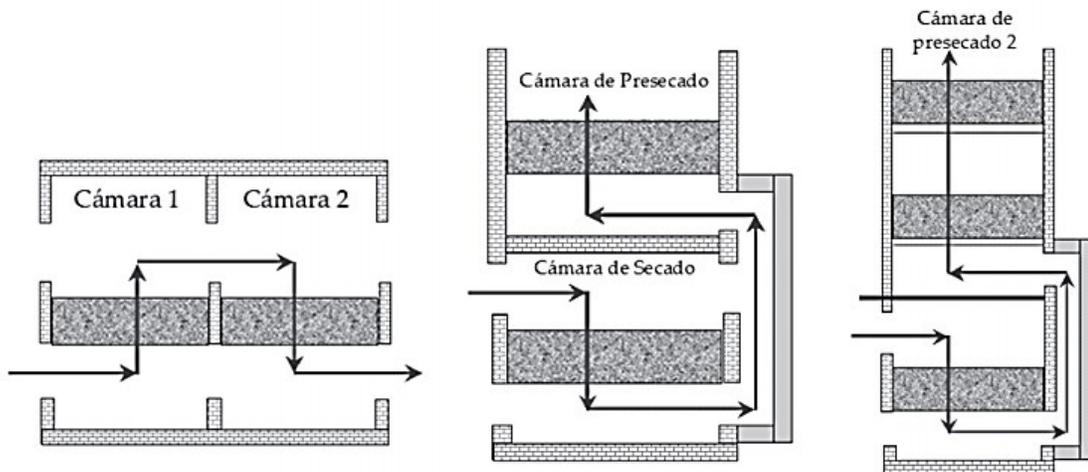
## **1.6 Funcionamiento de un secador mecánico**

El secador mecánico logra su trabajo utilizando el aire por medio de la compresión, produciendo calor y reduciendo significativamente la humedad, entre más rápido se genere la presión del aire así mismo se incrementarán los grados de temperatura. Para que esto ocurra es relevante exponer que el aire que pasará por la infraestructura se encuentra a temperatura ambiente y luego llegará entre 40° y 50° C, según la necesidad del prototipo. Para elaborar un modelo explícito se deben tener en cuenta al menos dos aspectos básicos, un regulador de aire, que se encargará de aumentar o disminuir el flujo del mismo, por otra parte, está el regulador de calor que nos dará la temperatura planteada para el desarrollo del secador, en el texto de la introducción se expresa que hay diferentes tipos de secaderos, unos por combustión que utilizan residuos maderables, cisco o cascarilla de arroz, también se tienen los que utilizan aceites o derivados del petróleo (Corpoica, 2014).

Se encuentran también secadores solares que son los más antiguos y los secadores eléctricos que son parte de los más modernos a la época en cuanto a reducción de contaminación y eficiencia. Para este prototipo se debe contar con ventiladores capaces absorber aire a alta velocidad y luego reducirlo en un determinado espacio logrando el aumento de calor y la regulación del caudal en el secado del grano de café para obtener resultados óptimos y útiles a las necesidades de la calidad del producto.

A continuación, algunas imágenes de 3 tipos de secaderos y su flujo de aire.

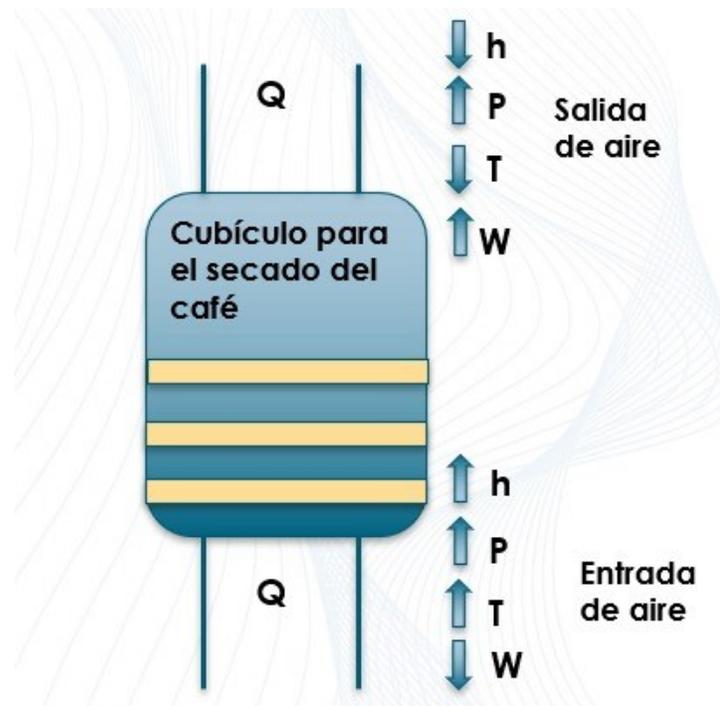
**Figura 1-1.6:** Cámaras de secado con capa fija.



Fuente: (Instituto Tecnológico Metropolitano, 2009).

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de estas variables físicas antes y después de ingresar al compartimiento con las bandejas de café:

**Figura 2-1.6:** Sistema de secado bandejas de café.



Fuente: (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019)

En el cual identificamos las siguientes variables:

Q = calor de aire

P = Presión del aire

T = temperatura del aire

h = entalpía

W = humedad del aire

Las propiedades físicas del aire son diferentes a la entrada y a la salida del compartimiento, no solo por la pérdida de calor sino también por la ganancia de masa en forma de vapor, donde el aire es saturado llegando al máximo nivel de humedad.

$q = \Delta h \times m$  donde  $m$  es la masa del aire y  $\Delta h$  es la diferencia de entalpías. Determinando el gasto másico que usará el secador en cierta cantidad de tiempo, y para obtener el flujo másico multiplicamos la velocidad de descarga del fluido por la densidad de la sustancia es decir el vapor de agua.

La ecuación utilizada por CENICAFE para el cálculo del contenido de humedad de equilibrio fue la siguiente:

$$Che = (61.030848\varphi - 108.37141\varphi^2 + 74.461059\varphi^3)e^{(-0.037047\theta + 0.070114\varphi^2 - 0.035177\varphi^3)\theta} \quad (1)$$

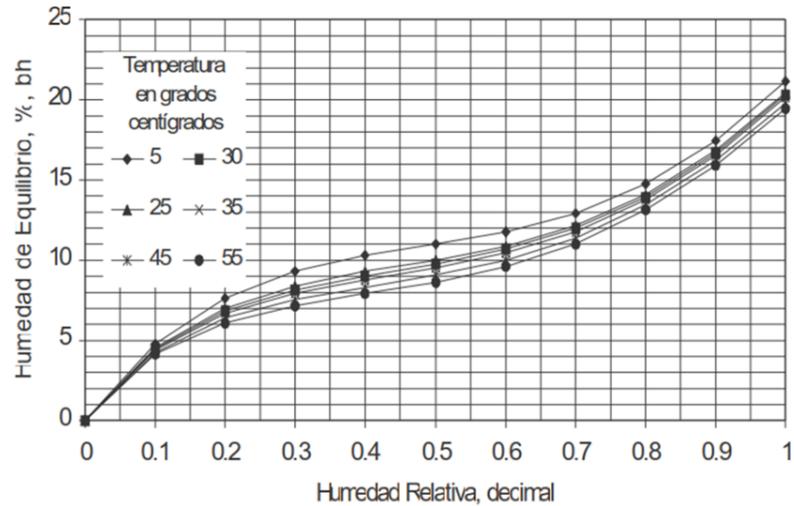
En donde:

Che= contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, % base seca

$\varphi$ = Humedad relativa, decimal

$\theta$ = Temperatura del aire, en grados Celsius

A continuación, visualizamos la figura de la curva de contenido de humedad de equilibrio del café pergamino.

**Figura 3-1.6:** Humedad de equilibrio

Fuente: (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019)

El volumen específico ( $v$ ) del aire húmedo es el volumen por la masa de aire seco y se expresa en  $m^3$  por Kg de aire seco ( $m^3/Kg$ ). La potencia que requiere el sistema se basa en el volumen específico del aire.

La humedad relativa (HR) del aire es la razón entre la presión actual de vapor de las moléculas de agua en el aire y la presión de saturación en la misma temperatura, normalmente se expresa en porcentaje. También se define como el contenido de humedad del aire en razón de la humedad ( $W$ ) es decir, la masa por vapor de agua por la masa de aire seco ( $Kg / kg$ ). La capacidad económica del caficultor y el tamaño de la plantación son dos variables de las cuales depende que el secado se haga con exposición directa al sol o con equipos mecánicos (artificialmente). Y para evitar que se afecte el olor y el color característico del café pergamino es necesario que se evite el contacto directo del grano con los gases de la combustión.

## 1.7 Requerimientos

El secado del café es una actividad que debe cumplir unos requerimientos en donde la humedad final debe oscilar entre el 10% y 13%, si el café tiene un porcentaje inferior se afecta no solo su peso, sino que tiende a perder características fisicoquímicas, si la

humedad es mayor se degrada el producto por un exceso de agua en el grano, permitiendo el hospedaje de hongos y bacterias entre otros organismos maléficos (Comité Editorial Cenicafé, 2015).

Para que el producto cumpla con las condiciones es indispensable que al final del proceso tenga un color uniforme independiente de la cantidad procesada, no debe tener presencia de ningún tipo de insectos y conservar el olor tradicional a café fresco sin aditamentos como olor a fermento, moho u otros olores diferentes al propio, en este caso cualquier cambio en estos aspectos dejará ver un mal procedimiento en el secado del café pergamino (Buitrago Bermudez, Ospina, & Alvarez, 2015).

El espesor de la capa de café debe estar entre 3 y 4 centímetros, la temperatura del aire comprimido caliente no debe superar los 53° C, la exposición al secador mecánico debe tener un tiempo promedio de 25 a 30 horas, al ser un método industrial es necesario cambiar el flujo de aire o alternar las capas de café para un secado uniforme, esto le permite al producto tener la humedad necesaria y una inocuidad, mejorando la calidad (Bastidas, 1990).

**Figura 4-1.7:** Defectos en el secado del café.



Fuente: (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019)



## 2. Diseño del Prototipo

En este capítulo se muestra el diseño y composición del prototipo, adicionalmente se harán especificaciones claras sobre algunos detalles diferenciadores del modelo frente a lo que se aprecia en el mercado, también se conocerán los elementos y estructuras con sus medidas a escala para mayor objetividad y cálculo a proporción.

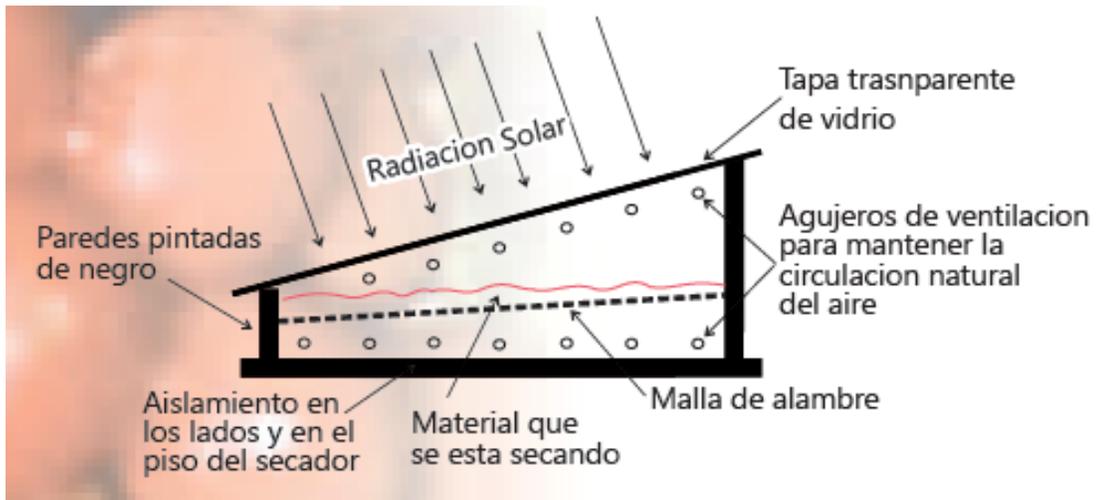
Para el desarrollo del proyecto se toma como punto de partida la necesidad presentada en la finca Las Palmas, la idea toma forma a partir de la adquisición de un compresor que genera calor al comprimir el aire haciendo que las moléculas se muevan más rápidamente, incrementando la temperatura proporcionalmente en función de la energía cinética media, alcanzando una temperatura de 48 °C, la cual es validada con el dispositivo que se encuentra referenciado como **Anexo: Anemómetro** en el actual documento. Se continua con el diseño de la infraestructura haciendo énfasis en los secadores tradicionales de exposición directa al sol, donde se determina la construcción de una cámara de secado que mantiene la temperatura ideal para el proceso de reducción de humedad. A su vez la cámara de secado permite un ensamblaje rápido y sencillo para la adecuada rotación del café pergamino hasta culminar con su objetivo.

Según las investigaciones realizadas por el manual de tecnologías apropiadas para la caficultura, se encuentra una variedad de diseños de secadores solares y mecánicos que se tomaron como referencia para la construcción del prototipo, en este capítulo se muestra cada uno de los diseños y un breve resumen de su funcionamiento.

- ✓ Esquema de secador solar directo

**Secador solar directo:** el colector y la cámara de secado son el mismo elemento, de esta manera, la radiación solar incide directamente sobre el producto a secar, resultando más efectiva la evaporación del agua. Esta humedad es recuperada por el aire procedente del exterior (Magen, 2016, pág. 8).

**Figura 5-2:** Esquema de secador solar directo

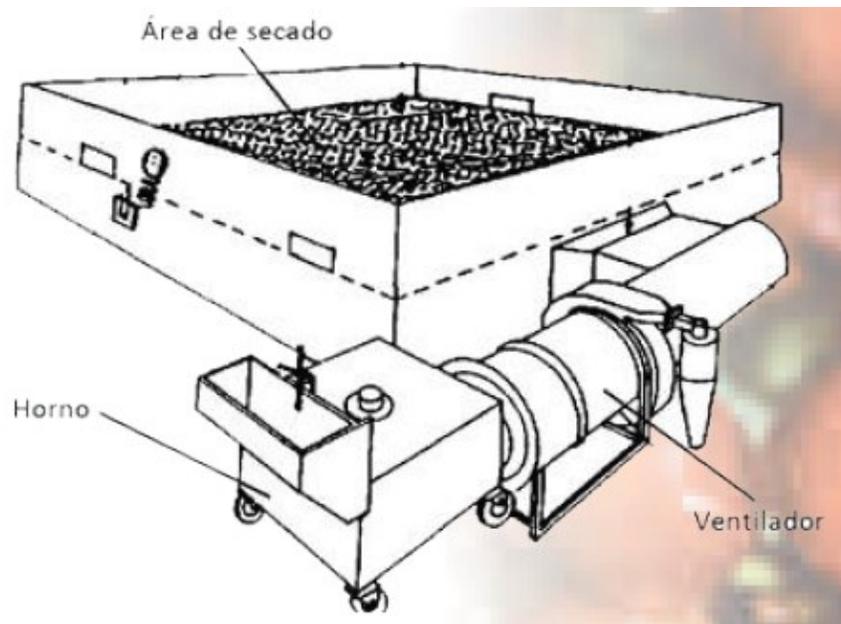


Fuente: (Magen, 2016).

✓ Esquema de secado artificial o mecánico

**Secado artificial o mecánico:** Utilizan corrientes de aire generadas con un ventilador. Adicional a esto se utiliza un equipo (Quemador) para secar más rápidamente. Se debe tener en cuenta no superar nunca los 60°C (Magen, 2016).

**Figura 6-2:** Esquema de secado artificial o mecánico



Fuente: (Magen, 2016).

## 2.1 Definición de los prototipos

Para ahondar un poco más sobre los prototipos es necesario realizar un pequeño paréntesis en donde se permitirá diferenciar el tipo de diseño al que se ha orientado el proyecto, para ello se explicará de la siguiente manera:

- **Prototipo experimental:** En este prototipo se da inicio a un modelo que se crea de cero, es decir, no cuenta con antecedentes y se trabaja en múltiples diseños para dar un lineamiento a la naturaleza del proyecto que se quiere generar.
- **Prototipo exploratorio:** Como su nombre lo indica es uno de los diseños que se desarrolla con el fin de resolver aspectos complejos o de investigación, en el que se requiere de un trabajo conciso en la solución de una necesidad o de una innovación que permita generar un impacto.
- **Prototipo operacional:** Es el modelo que presenta los lineamientos de la usabilidad, es decir, el prototipo que cuenta con unos antecedentes y estimula la búsqueda de la mejora o de innovación para un uso comercial, este modelo operacional cuenta con una estructura esquelética interna y una presentación externa terminada y funcional, como su nombre lo indica, este es el prototipo que se implementará a continuación.

## 2.2 Sistema de funcionamiento

El prototipo elaborado es un diseño que cuenta con ruedas que facilitan su movilidad para la elaboración de pruebas y estudios, esto con el objetivo de refutar cada una de las hipótesis sobre su rápido sistema de secado. Como se apreciaba en la (**Figura 7-2.4**) el diseño tiene un ducto que es el encargado de recibir el aire que se presenta en el ambiente de acuerdo a la construcción expresado por (Buitrago Bermudez, Ospina, & Alvarez, 2015) donde se ejemplifica el ingreso y salida del caudal.

El sistema cuenta con un filtro que se encarga de retener partículas que puedan dañar el dispositivo, luego de ser captado necesita una fuente de calor, los estudios realizados demuestran que, cuando el aire se comprime hace que las moléculas se muevan más rápidamente; lo que aumenta la temperatura y reduce la necesidad de usar dicha fuente de calor (Hincapié & Bedoya Loaiza, 2007).

Esto quiere decir que la temperatura del aire comprimido es proporcional al incremento de la energía cinética media, este pasa al compresor que se encarga de absorber y generar la presión necesaria para que el aire aumente su temperatura ambiente cerca de los 48° C a la sombra.

Para el control de la temperatura se ha dispuesto de un termohigrómetro digital y un arrancador eléctrico con protección termo magnética para el motor, además de indicadores led de colores rojo y verde de puesta en marcha y apagado respectivamente, la tubería para la salida del aire del compresor direccionado a las bandejas se clasificó basándonos en la siguiente tabla:

**Tabla 1-2.2:** Característica de las tuberías.

<b>Tabla 1: Características y Prestaciones del Material para las Tuberías</b>				
Características de las Tuberías	Acero Inoxidable	Acero Negro	Cobre	Aluminio
Peso	Schedule 10 Más Ligero	Schedule 40 Pesado	Ligero	Ligero
Resistente a la Corrosión	Sí	No	Sí	Sí
Vulnerable a Pérdida de Presión Generada por Fricción	No	Sí	No	No
Resistencia Mecánica	Muy Fuerte	Muy Fuerte	Fuerte	Fuerte
Ratio a Alta Temperatura	Sí	Sí	Sí	Sí
Fácil de Instalar	Poca Dificultad	Difícil	Poca Dificultad	Fácil
Coste de Instalación Material%/Mano de Obra%	30% / 70%	25% / 75%	40% / 60%	80% / 20%
Herramientas Especiales Requeridas (soldador, enhebrador, fresa para ranuras )	Sí	Sí	Algunas (soldador)	No

Fuente: (Shanbhag, Nitin G., 2014)

La transferencia de calor hacia el café se origina cuando el aire caliente entra en contacto con los granos de café pergamino a través de un ducto, el cual por medio de deflectores distribuye el aire de manera uniforme por la parte inferior de la primera malla, posteriormente el aire continúa hacia arriba a través de los dos compartimientos siguientes para el intercambio de energía restante pasando de una cámara a la otra antes de salir a la atmosfera, reduciendo considerablemente el riesgo de deterioro en la calidad que comúnmente se da por la contaminación de los granos con combustibles cuando se usa combustión directa para calentar el aire de secado.

Esta fase consiste en calcular las dimensiones del cubículo donde se va a secar el café, además del cálculo de calor requerido para obtener la temperatura ideal (45°C). Para el diseño del prototipo es fundamental tener en cuenta los siguientes parámetros: el peso del café que se va a secar, la humedad inicial ( $h_1$ ) que contiene la masa de café, la humedad final ( $h_2$ ) que se va a obtener con el equipo y considerando las condiciones ambientales. Parámetros de inicio:

$$\text{Cantidad de CPh} \quad 7 \text{ Kg} \quad (2)$$

$$\text{Humedad inicial } (h_1) \quad 55\% \quad (3)$$

$$\text{Humedad final } (h_2) \quad 13\% \quad (4)$$

$$\text{Temperatura ambiente} \quad 25^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$\text{Densidad del CPs} \quad 0.357 \text{ kg/dm}^3 \quad (6)$$

$$\text{Densidad del CPh} \quad 0.8173 \text{ kg/dm}^3 \quad (7)$$

$$\text{Contenido de agua} = \frac{\text{Cantidad de CPh} \times 55}{100} = 3.85 \text{Kg} \quad (8)$$

$$\text{Kg de CPs} = \frac{((100-(h_1))(\text{Cantidad de CPh}))}{100} = 3.15 \text{Kg} \quad (9)$$

$$\text{Cantidad de humedad en CPs} = \frac{((h_2)(\text{Kg de CPs}))}{(100-h_2)} = 1.04 \text{Kg} \quad (10)$$

$$\text{Humedad a extraer del café} = (\text{Contenido de agua} - \text{Cantidad de humedad en CPs}) = 2.81 \quad (11)$$

Las dimensiones del cubículo se fundamentan en la densidad del café.

$$\text{Densidad} = \text{masa} / \text{volumen} \quad (12)$$

$$\text{Volumen} = \text{masa} / \text{Densidad de CPs} \quad (13)$$

$$\text{Volumen del CPs es:} \quad v_{CPs} = \frac{7 \text{ Kg}}{0.8173 \text{ Kg/dm}^3} = 8.56 \text{ dm}^3 \quad (14)$$

Ahora es indispensable conocer la cantidad de energía que absorben los 4.5 Kg de material que pesa la estructura que está compuesta por tres mallas perforadas en acero inoxidable que reposan sobre rieles, con una tapa de inspección y paredes laterales en lámina galvanizada calibre 18; para aumentar su temperatura desde 25°C a 45°C.

$$q = \text{masa} \times C_p \times \Delta T \quad (15)$$

$$\Delta T = 25^\circ\text{C} \quad (16)$$

$$q = 4.5 \text{ Kg} \times 465 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \times 25^\circ\text{C} \quad (17)$$

$$q = 52312.5 \text{ J} \quad (18)$$

La energía térmica que se transfiere es de 52312.5 J Para calentar la estructura del cubículo que contiene el café.

En este caso la temperatura ambiente es la que está en su estado inicial y se incrementa a los 45°C, ya que es la temperatura ideal para el secado mecánico del café, esta forma de transferencia de energía es sencillamente la consecuencia de una diferencia de temperatura. Adicionalmente, se debe conocer la capacidad calorífica del material para conocer la energía térmica necesaria para incrementar la temperatura del material en 1°C.

Ahora es necesario identificar la masa de aire que circula dentro del dispositivo para hallar la energía requerida para calentar el flujo de aire que va al cubículo, y para esto se tiene que:

$$v_{\text{Cubículo}} = \text{Volumen del cubículo} \quad (19)$$

$$\text{Masa} = v_{\text{cubículo}} \times \rho_{\text{aire}} \quad (20)$$

Posteriormente se halla el calor que se necesita para calentar el aire

$$Q_{\text{aire}} = \text{masa} \times C_{p_{\text{aire}}} \times \Delta T \quad (21)$$

A continuación, la siguiente tabla muestra los datos del calor específico y la densidad del aire:

**Tabla 2-2.2:** Datos del calor específico y la densidad del aire

	$T$ [°C]	$C_p$ [J/KgK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	0	1011	1,252
2	20	1012	1,164
3	40	1014	1,092
4	60	1017	1,025
5	80	1019	0,968
6	100	1022	0,916
7	300	1035	0,723
8	350	1047	0,596
9	400	1059	0,508
10	500	1076	0,442
11	1000	1139	0,268

Fuente: (Cenicafe, 2018)

Ahora se debe realizar la interpolación de la densidad y de la capacidad calorífica dado que la temperatura que necesitamos no está registrada en la (Tabla 2-2.2).

Fórmula para interpolación lineal:

$$Y_0 \Rightarrow X_0 \quad (22)$$

$$Y \Rightarrow X \quad (23)$$

$$Y_1 \Rightarrow X_1 \quad (24)$$

Donde la incógnita es  $Y$

$$Y = Y_0 + \left( \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \right) (X - X_0) \quad (25)$$

Entonces:

**Tabla 3-2.2:** Interpolación para hallar  $C_p$ .

Interpolación para hallar $C_{p_{aire}}$ en $T = 45^\circ C$		
40	1014	3
45	<b>X=1015</b>	
60	1017	4

Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Tabla 4-2.2:** Interpolación para hallar densidad.

Interpolación para hallar densidad $\rho_{aire}$ en $T = 45^\circ C$		
40	1.092	3
45	<b>X=1.075</b>	
60	1.025	4

Fuente: (Elaboración propia 2021).

La densidad del aire a la temperatura requerida es:

$$\rho_{aire} = 1.075 \text{ kg/m}^3 \quad (26)$$

Volumen de aire dentro del cubo =  $0.029791 \text{ m}^3$

Masa de aire =  $\rho_{aire} \times V_{aire \text{ en el cubo}} = 0.0320 \text{ kg}$

Temperatura máxima dentro del cubo  $T_{max} = 45^\circ C$

$$\text{Capacidad calorífica del aire } C_{p_{\text{aire}}} = 1015 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{K} \quad (27)$$

la finalidad del proyecto es diseñar un prototipo que seque el café para su debido almacenamiento sin poner en riesgo las cualidades que caracterizan este producto de la finca las Palmas que está ubicada en la vereda San Antonio del pescado en Garzón Huila y para el aprovechamiento en el peso y un mejor precio de comercialización.

Debido a esa razón se busca garantizar que el grano cumpla con el porcentaje de humedad en la cual se considera “seco” cuyo rango es entre el 10 y 13%. Finalmente, para que el café cumpla con este rango de humedad se debe garantizar el balance de energía y para ello es necesario identificar el peso del agua ( $P_{\text{agua}}$ ) que queda en el producto CPs, el peso total del café húmedo ( $P_{\text{mh}}$ ) y la humedad final del producto  $h_2$ , que son valores que se calculan en las fórmulas del presente capítulo.

$$\text{Calor necesario es: } Q = \text{masa}_{\text{agua evaporada}} \times L_{\text{calor latente}} \quad (28)$$

Es fundamental calcular el calor latente (L) de vaporización, para luego hallar la energía necesaria para retirar exclusivamente la humedad que indica el análisis matemático.

La siguiente ecuación empírica de calor latente de vaporización del café pergamino es realizada por (Cenicafe, 2018).

$$L = (2504.2 - (2.495 * T_{\text{secado}})) * \left(1 + 1.44408 \left(\frac{-21.50 * H_{\text{deseada}}}{100}\right)\right) * 100 \quad (29)$$

Donde:

$$L = \text{Calor latente de vaporización del café pergamino, } \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \quad (30)$$

$$T_{\text{secado}} = \text{Temperatura, (indicada en grados Celsius).} \quad (31)$$

$$M = \text{Contenido de humedad del café, (decimal, base seca)}$$

Entonces la energía implementada para calentar el aire dentro del cubo que conforma el prototipo es:

$$q = m \times C_p \times \Delta T = 812 \text{ J} \quad (32)$$

En las revisiones bibliográficas se halló el desarrollo de programas de simulación matemática para determinar las mejores condiciones de operación para el secado mecánico del grano de café pergamino; y a partir de las simulaciones realizadas los autores recomiendan un espesor de capa de granos de 0.4 m, una temperatura del aire de secado máximo de 50°C y un caudal volumétrico de  $30 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ min}^{-2}$  para obtener un secado ideal de los granos sin que se deteriore su calidad (Comité Editorial Cenicafé, 2015).

La relación entre el espesor de la capa de café y la pérdida de presión en función del caudal de aire que incurren a través de ella y del área que ésta ocupa con relación en la humedad de los granos, se determina de acuerdo a la ecuación ( 33) semi empírica obtenida por (Bastidas, 1990)

$$\frac{\Delta p}{h} = \left[ \frac{Q}{A} \right]_{9,523 - 0,0476\mathcal{M}}^{1,4793} \quad (33)$$

Dónde:

$\Delta p$ : Pérdida de presión, en cm de agua.

$h$ : Altura de la capa, en m.

$Q$ : Caudal de aire que cruza una capa de café, en  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

$A$ : Área del secador en  $\text{m}^2$ .

$\mathcal{M}$ : Humedad del grano, en porcentaje base húmeda.

Ahora, si organizamos la ecuación ( 33) encontramos una expresión a partir de la cual se puede despejar con facilidad el caudal de aire que atraviesa la masa de café (González-Salazar, Sanz-Urbe, & Oliveros-Tascón, 2010).

$$\frac{Q}{A} = (9,523 - 0,0476\mathcal{M}) \left( \frac{\Delta p}{h} \right)^{0,0676} \quad (34)$$

## 2.3 Tipo de Materiales

A continuación, se muestra de forma detallada los componentes que se definieron para la implementación del prototipo, estos elementos son requeridos por su capacidad, costo,

duración y disponibilidad en el mercado, adicionalmente se seleccionaron materiales de fácil adquisición, para la adecuada construcción según los requerimientos y funcionamientos. Debido a que un prototipo complejo genera inconvenientes en su operación y mantenimiento.

**Tabla 5-2.3:** Materiales para el prototipo

Item	Und	Partes	Descripción	Materiales
1	4	Bisagra	Bisagra Cuadrada 2,1/2" Marca: Hermex Código:43260	Acero
2	1	Puerta Grande		Galvanizado
3	3	Parrilla	Perforada con huecos 13/64"	Madero y acero
4	1	Tapa Superior	Angulo L 3/4 #Lamina galv, 18	Galvanizado
5	2	Pasador de cierre		Galvanizado
6	1	Tubo cuadrado		Hierro
7	12	Oreja de soporte		Hierro
8	1	Estructura Base	Angulo L 3/4"	Galvanizado
9	1	Cuerpo Superior		Galvanizado
10	1	Cuerpo Inferior		Galvanizado
11	1	Puerta Superior		Galvanizado
12	4	Rodachin	Referencia: 0206050255	Goma
13	1	Blower	110V - 60Hz - 650w -800ml	Plastico
14	1	Manguera		Caucho
15	1	Caja de paso	0,10m x 0,10m x 0,20m	
16	1	Contacto	18 Amperios a 110 v	
17	1	Protector termomagnetico	7 a 10 A mperios	
18	1	Temporizador	Regulador de tiempo 3h	
19	1	Swich	Encendido / Apagado	
20	2	Indicadores Led		

Fuente: (Propia 2021).

## 2.4 Consideraciones en el proceso de secado

Para el adecuado manejo de café se presentan las siguientes consideraciones específicas que ayudan a ser más eficiente su proceso, puesto que el café cuenta con unos estándares de calidad que influyen directamente en su comercialización (Cafe de Colombia., 2018), algunos de estos son:

- Acero inoxidable de grado alimenticio calibre 304.
- Humedad máxima del grano de café en almendra debe ser máximo del 13%.
- Granos de café en buenas condiciones. Sin marcas externa, granos partidos, color disparejo, granos deformes o dañados (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019).
- Granos de café que no contengan sabor u olor diferente a su original, ni residuos de productos altamente penetrantes perfumes, combustibles, químicos, humedad, entre otros (Arismendy, 2016).

Para el proceso se debe resaltar que el grano tiene una cáscara protectora que es la encargada de proteger la almendra que finalmente es transformada, por lo que la cáscara es la que tiene contacto directo con las superficies donde es secado el café antes de realizar la trilla.

Para el caso de prototipos o máquinas semi industriales o industriales es necesario que el material que tenga contacto con el producto sea en acero inoxidable de grado alimenticio, de ahí en adelante la construcción del prototipo puede llevar diferentes materiales que no promuevan la corrosión de la estructura para evitar olores y sabores que afecten la calidad del producto (Buitrago Bermudez, Ospina, & Alvarez, 2015).

Por otra parte, el prototipo puede contar con algunos equipos que permitan optimizar su trabajo como es el caso de un medidor de temperatura, un tablero de control u otros elementos que faciliten su ejecución y logren una mayor precisión sobre el punto de secado, de acuerdo con lo anterior se dará continuidad al diseño y elaboración de la estructura.

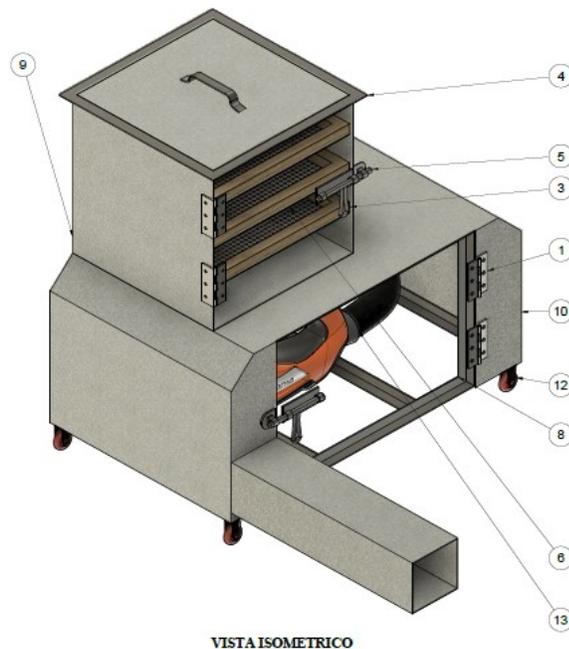
## 2.5 Elaboración de planos

La elaboración del prototipo es uno de los procesos más amplio que encontramos en nuestra región y esto se debe a que el departamento del Huila a tomado fuerza en la producción de café con mayor calidad a nivel nacional, es muy común hallar información de diferentes sistemas y modelos de secado, sin embargo, es necesario resaltar que no todos se pueden aplicar en los diferentes terrenos o zonas productivas del Huila.

Encontramos diversidades a nivel de suelo, de pluviosidad y de plantas como son el caso de las variedades de café (Cafe de colombia., 2018), revisado este contexto se plantea el siguiente diseño que va dirigido a la finca Las Palmas, en términos más concretos hablamos de 2 hectáreas (la hectárea con un área de 10.000 m<sup>2</sup>) con 5.000 árboles en cada una.

Con la información anterior se tomó la decisión de elaborar el siguiente diseño con las medidas acordes a la capacidad del compresor, este prototipo es a escala por lo que en futuras fases del proyecto se puede presentar el diseño en un tamaño óptimo para su explotación.

**Figura 7-2.5:** Diseño del prototipo

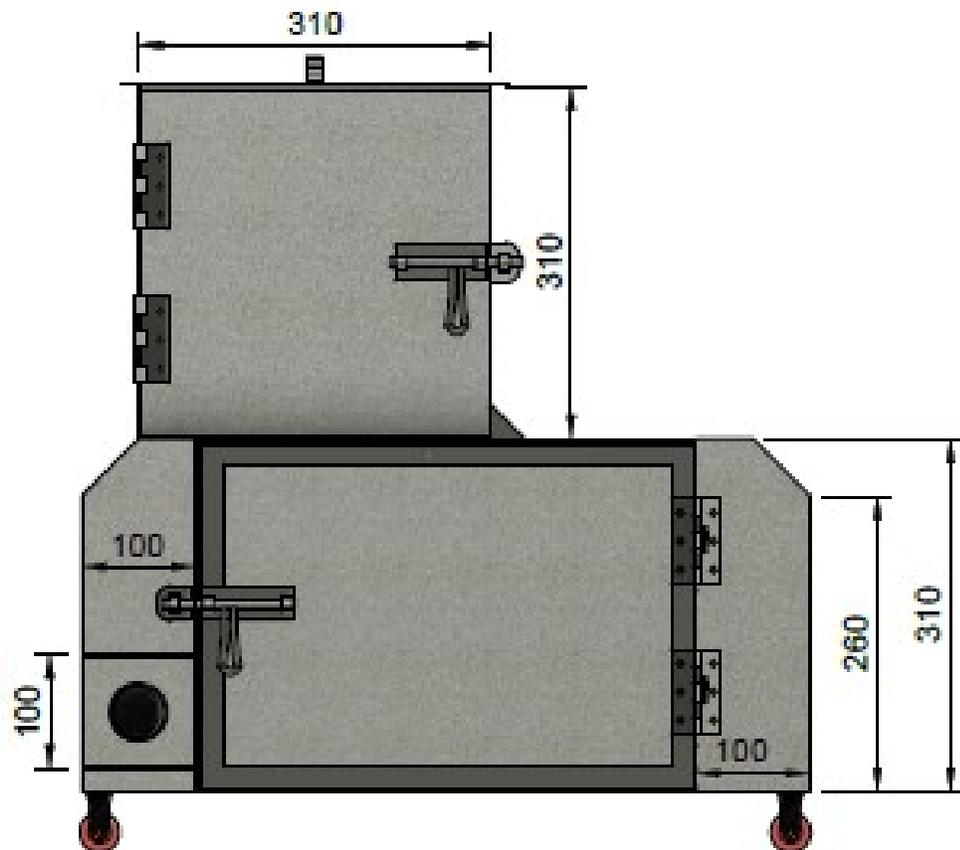


Fuente: (Elaboración propia 2021).

La (Figura 7-2.5) muestra el diseño interno que se llevará a cabo para la fabricación, en esta imagen se pueden ver las 3 micras o mallas donde se secará el café, también se aprecia en la parte inferior la ubicación del compresor con la manguera que facilita el paso del aire que posteriormente tendrá contacto con el producto (Bastidas, 1990).

Podemos ver que en la parte inferior interna del prototipo tiene dos travesaños que sirven de amarre para la estructura y cumplen la función de soporte para colocar el compresor que se encargará de aumentar la temperatura del aire que entra por el cubículo que está al lado izquierdo, el diseño tiene un número en cada una de sus partes, esta información corresponde a la lista de partes que se encuentra en la (Tabla 5-2.5).

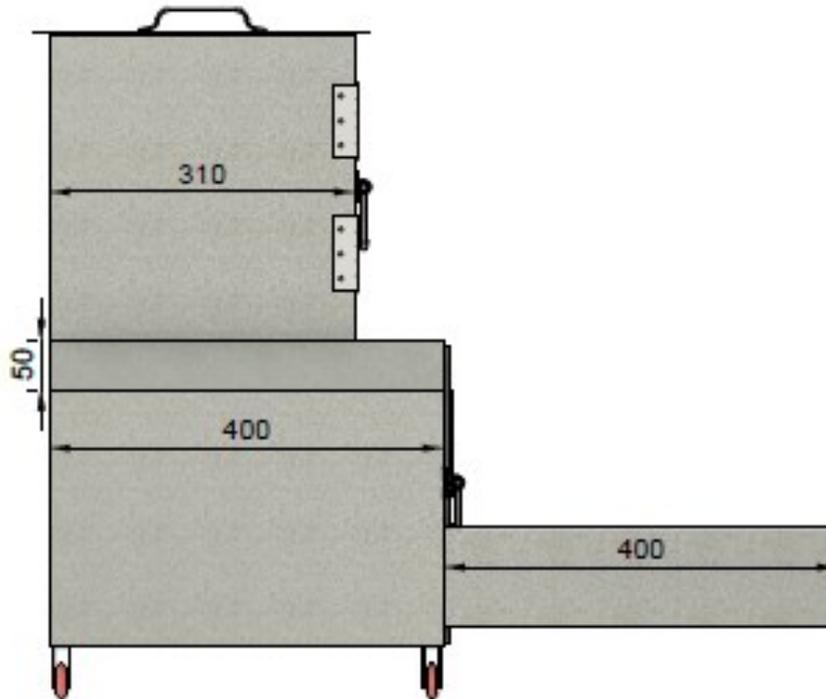
Figura 8-2.5: Diseño externo prototipo.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

En la **Figura 8** **Figura 8-2.5** se aprecian las medidas del prototipo a nivel frontal, cada una de estas medidas a escala cumplen con la función de mantener el calor y permitirle el espacio suficiente al compresor para que no tenga un aumento exponencial de temperatura y afecte su desempeño, en este modelo se le incorporan ruedas para facilitar la movilidad y realización de prácticas.

**Figura 9-2.5:** Diseño lateral derecho del prototipo.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

La **Figura 9-2.5** muestra la parte lateral derecha del prototipo en donde se logra ver la extensión que facilita el ingreso de aire, esta se ubica generalmente contra viento para mantener el caudal y facilitar el trabajo del compresor, este ducto conecta con la manguera que reduce el paso del viento a 2 pulgadas de diámetro.

Terminados los bosquejos del diseño del prototipo y conociendo las normas y materiales se continua con el siguiente capítulo que es la construcción y ensamble del prototipo, como se leía en la sección 2.4 la estructura cuenta con partes metálicas y algunas de madera para que el diseño sea robusto y liviano.



### 3. Construcción y ensamble

La construcción del prototipo se llevó a cabo en la ciudad de Neiva de acuerdo a la facilidad de encontrar los materiales y herramientas para su elaboración, para dar inicio se tomó la referencia del diseño presentado en la **Figura 7-2.5**, **Figura 8-2.5** e **Figura 9-2.5**, a partir del diseño se construyó un rectángulo en hierro para formar la estructura inferior que sirve también de soporte para el cuadrado hecho con lámina galvanizada y soldadura eléctrica calibre 6013. En este último es el cubículo donde se hará el secado del café.

**Figura 10-3:** Cubículo de secado.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

El cubículo de secado cuenta con una puerta lateral con pasador, una tapa en la parte superior y un tubo cuadrado de hierro de 1<sup>1/2</sup> pulg, el cubículo contará con tres rieles

que facilitarán el ingreso de las mallas donde se colocará el café pergamino para su respectivo proceso.

**Figura 11-3:** Estructura con ambos cubículos.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

La estructura inferior como se puede ver tiene un diseño rectangular con las medidas representadas en la (**Figura 9Figura 9-2.5**) se puede ver el tubo galvanizado de 0.010m x 0.010m donde ingresará el aire que será trabajado por el compresor.

Para concluir el prototipo se mostrará cada una de las imágenes desde diferentes lados:

**Figura 12-3:** Parte frontal interna del secador.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 13-3:** Parte frontal externa del secador.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 14-3:** Parte lateral derecha del secador.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 15-3:** Parte trasera del secador.



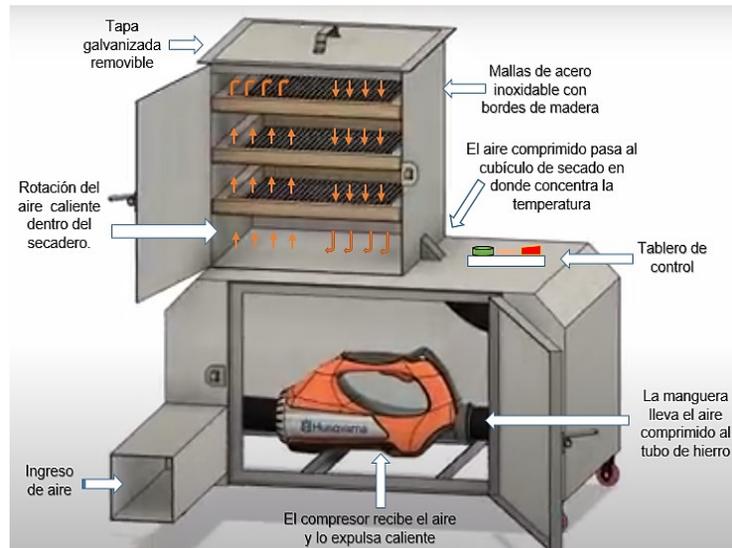
Fuente: (Elaboración propia 2021).

Terminada la construcción del diseño se ensamblan los últimos equipos en la finca Las Palmas que facilitarán el seguimiento y control de los requerimientos del secador mecánico de café. En la (**Figura 13Figura 13-3**) se puede ver que la parte externa del dispositivo está terminada, por lo que en el siguiente capítulo se mostrarán las características de su

funcionamiento y en el último capítulo se anexarán los costos y viabilidad del prototipo a mayor escala.

Para ejemplificar a mayor brevedad se presenta la siguiente figura:

**Figura 16-3:** Sistema de funcionamiento.



Fuente: (Elaboración propia 2021).



## 4. Diseño del mecanismo de control

Los mecanismos de control permiten realizar seguimientos y mediciones en distintos procesos, ya sean, de producción o servicios, para aspectos de calidad, funcionamiento, rendimiento, entre otros. En este capítulo se muestran los equipos utilizados para el seguimiento y control del secado de café a fin de obtener los resultados del prototipo y sus respectivas variaciones.

### 4.1 Determinación de humedad

La humedad es un factor determinante en el proceso de secado de café pues este porcentaje afora características especiales del grano antes de su deshidratación, por lo que es importante para el agricultor a la hora de realizar el secado, revisar el contenido de humedad que tiene el grano para así realizar un secado parejo con las variaciones de temperatura (Bastidas, 1990).

Para determinar la humedad se implementó el medidor instantáneo de granos y semillas de referencia PM450 donde lo que se hace es verter los granos de café en el dispositivo y el inmediatamente genera el resultado de humedad, a continuación, se muestra una ilustración del proceso, sin embargo, para mayor detalle se encuentra en el documento como **(Anexo: Medidor De Humedad)**.

**Figura 17-4:** Medidor de humedad PM450.



- Seleccione la calibración del producto



- Vierta la muestra y presione MEA



- Los resultados de la prueba se mostrarán instantáneamente!!

Fuente: (Kett, 2016).

## 4.2 Medición de temperatura

La temperatura nos permite realizar un secado o deshidratado constante de la humedad que contiene un producto, en el caso de granos o semillas, en el proceso del café la temperatura cumple un factor importante como lo es el calor constante que ayuda a la conservación del grano, manteniendo sus características físicas y químicas, una vez que está listo puede almacenarse y conservarse por un prolongado periodo de tiempo (González-Salazar, Sanz-Uribe, & Oliveros-Tascón, 2010).

Cabe resaltar que la humedad del prototipo es variable en cuanto al grano de café, esto se debe a procesos que simultáneamente se implementan para generar un resultado específico. En el objetivo de establecer un resultado de la temperatura se utilizó el Datalogger DT – 172, este equipo permite conocer la temperatura generada en el secador y facilitar el cálculo del tiempo el cual estará expuesto el producto para un secado, para mayor información de sus características se tienen las especificaciones como (**Anexo: Termo Higrómetro**).

## 4.3 Velocidad del aire

Antes de exponer el dispositivo para esta medición es necesario hablar sobre el difusor principal de aire que es un compresor, este dispositivo es una herramienta eléctrica neumática de multifunción; su potencia para el prototipo es de 650W, cuenta con un orificio que le permite absorber aire que luego sufrirá un cambio en su temperatura, ya que la función del mismo es la compresión del aire, elevando la temperatura del aire en su compresión (pasándola de 25° C a 48° C) para que esto ocurra dentro del prototipo se dejó un ducto donde circula el aire y luego es expulsado al cubículo de secado donde ha ocurrido el incremento en la temperatura, como todos los equipos se presentan sus especificaciones en el (**Anexo: Unidad Compresora**).

Después de la previa introducción podemos hablar del anemómetro digital UNI-T UT 363, este se encarga de medir la velocidad y temperatura con la que corre el viento, para el prototipo de secado; este equipo se coloca en el ducto difusor de aire dentro del cubículo de secado donde se conoce el caudal con el que transita el aire en el espacio encerrado, algunas de las cualidades de los equipos es que todos oscilan en rangos de medición hasta los 50° Celsius, para más detalles se encuentra como (**Anexo: Anemómetro**).

## 5. Validación del prototipo

En este capítulo se registrarán datos mediante instrumentos en cada ensayo reduciendo el margen de error hasta lograr una aproximación al resultado esperado, con una humedad inferior al 13% para un almacenamiento idóneo del café. Luego de esto se realizarán las comparaciones en cuanto a eficiencia, eficacia y ecología del prototipo, respecto a los secaderos presentes en el mercado cafetero.

Mediante las fórmulas matemáticas ( 11 ) y ( 18 ) se hallaron los valores de humedad que se requiere retirar del café y también se aprecia que es más rentable para el productor de la finca las palmas vender su café seco ya que puede generar una mayor utilidad comercializando el grano después del proceso de secado.

Adicionalmente se halló la energía necesaria para calentar el aire desde una temperatura ambiente hasta 45 °C sin necesidad de la utilización de ningún tipo de combustible fósil, de esta manera se brinda la seguridad de que el café pergamino no será contaminado por la exposición directa o indirecta con los gases de genera la combustión. Siendo este el punto de partida para la continuidad de la investigación y futuras modificaciones a una mayor escala (Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE, 2019).

El prototipo busca reducir el proceso de secado evaluando la reducción de tiempo, materiales, consumo energético, y facilidad en el manejo por parte del operario, con esto también se plasma una serie de trabajos que se pueden ir implementando en otras fases de investigación, ya que el actual diseño es diferente a los otros por su tamaño, proceso de secado y equipos que lo componen como en otras referencias de las entidades públicas y privadas del país (Federación de Cafeteros, 2020).

A continuación, se presentan las imágenes de validación del funcionamiento y puesta en marcha del prototipo a escala del secador mecánico de café:

**Figura 18-5:** Secador mecánico en funcionamiento.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 19-5:** Puesta en marcha del equipo, medición de la temperatura ambiente.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 20-5:** Medición de velocidad y temperatura del aire antes de la puesta en marcha del equipo.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

**Figura 21-5:** Medición de aire y temperatura.



Fuente: (Elaboración propia 2021).

Con la **Figura 19-5**, **Figura 20-5** y **Figura 21-5**, se puede ver que el secador opera de forma acorde y los equipos marcan los cambios presentados en el proceso de reducción de la humedad del grano de café, es de resaltar que las composiciones del equipo son de bajo costo y buscan apoyar al caficultor con la obtención de una utilidad mayor en la venta del café, este modelo a escala es diferente a los expuestos por los centros de investigación de CENICAFE, del comité de caficultores y entre otros como se aprecia en las referencias (Federación de Cafeteros, 2020).

## 5.1 Parámetros del secador mecánico

El secador mecánico de café es un prototipo elaborado con unos procesos diferentes a los expuestos en el mercado y en otras investigaciones de grado o de artículos científicos, este prototipo tiene un proceso innovador que muestra un diseño acorde a las necesidades de los pequeños productores de café de la región, por ende se tomaron como referencias materiales y equipos de fácil adquisición como los representado en la (Tabla 5) del actual documento. Es de resaltar que el secador es de funcionamiento eléctrico reduciendo procesos de contaminación en comparación a la combustión de biomasa o material vegetal que prolifera contaminantes al medio ambiente (Milena, Paz Torres, & Rojas Carvajal, 2007).

La cantidad de café por cada malla es de 1260 gramos, en total el cubículo tiene una capacidad a escala de 3780 gramos, el equipo funciona con energía de 220 VAC en donde tenemos las siguientes características para el secado:

**Tabla 6-5.1:** Especificaciones de medición del secadero.

Variables	Anemómetro		Datalogger		Compresor	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
<b>Humedad</b>	N/A	N/A	0%	100%	N/A	N/A
<b>Temperatura</b>	-10° C	50° C	-40° C	70° C	1° C	48° C
<b>Velocidad</b>	0 m/s	50 m/s	N/A	N/A	0 m/s	36 m/s

Fuente: (Elaboración propia 2021).

## 5.2 Resultados del secado

Terminada la construcción se realizó el seguimiento del prototipo de acuerdo a su objetividad, en donde se presentan los siguientes resultados de medición, el prototipo se encuentra en la fase de aplicación por lo que se hace hincapié en las especificaciones que necesita el grano de café y las variables expuestas del procedimiento.

**Tabla 7-5.2:** Tiempos y características del secado.

<b>CUADRO COMPARATIVO DE TIEMPOS DE SECADO EN LOS TRES PISOS EN DISTINTOS ESPESORES</b>					
<b>Primera sección (secado)</b>					
<b>Humedad inicial <math>h_1</math></b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Velocidad de aire m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Temperatura de aire °C</b>	<b>Espesor de la capa de granos (cm)</b>	<b>Humedad final <math>h_2</math> %</b>
53%	16	36	48	1	10
	16			2,5	13,5
	16			3,9	14
	16			4,5	14
<b>Segunda sección (pre-secado)</b>					
<b>Humedad inicial <math>h_1</math></b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Velocidad de aire m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Temperatura de aire °C</b>	<b>Espesor de la capa de granos (cm)</b>	<b>Humedad final <math>h_2</math> %</b>
53%	16	29	48	1	25
	16			2,5	27
	16			3,9	29
	16			4,5	29
<b>Tercer sección (pre-secado)</b>					
<b>Humedad inicial <math>h_1</math></b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Velocidad de aire m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Temperatura de aire °C</b>	<b>Espesor de la capa de granos (cm)</b>	<b>Humedad final <math>h_2</math> %</b>
53%	16	22	48	1	34
	16			2,5	38
	16			3,9	40
	16			4,5	43

Fuente: (Elaboración propia 2021).

El cuadro representa el paso del aire que en principio está a una temperatura (T) y a una humedad (H), que pasa a través la primera capa delgada de granos que tiene una humedad inicial ( $h_1$ ) y una temperatura inicial (TG1). Después de un intervalo de tiempo ( $\Delta T$ ), cierta cantidad de humedad ( $\Delta h$ ) se evapora de los granos, siendo transportada por el aire, el cual pasa a tener una mayor razón de humedad ( $H+\Delta h$ ). Al mismo tiempo, el aire

disminuye su temperatura a  $(T-\Delta T1)$  en forma proporcional al aumento de temperatura del grano  $(Tg1+\Delta Tg1)$ . Las condiciones de salida del aire de la primera capa de grano son las mismas condiciones de entrada para la siguiente capa (segundo piso), y así sucesivamente se aumentan las capas, con el mismo análisis matemático, hasta completar la capa gruesa de grano (capa real dentro del prototipo) (Hincapié & Bedoya Loaiza, 2007)

Estos modelos son esenciales y se utilizan como una herramienta muy útil para predecir el comportamiento del grano durante el proceso de secado, y también para el diseño de nuevos secadores incluso de cualquier capacidad. Es muy importante tener en cuenta que el proceso de secado de granos es considerado determinístico; por lo cual se buscó optimizar como primera medida alcanzar un mínimo tiempo de secado, en segundo lugar un mínimo coeficiente de variación del contenido final del grano, y por último, la máxima capacidad dinámica del secador, de esta manera se realizaron varias combinaciones de los parámetros de entrada como son los espesores de las capas de granos, las temperaturas del aire de secado y los caudales para obtener la mayor eficiencia en el equipo.

Por otra parte, pudimos hallar que si la temperatura del aire de secado es menor a  $50^{\circ}\text{C}$  entonces se obtiene una mayor uniformidad en el contenido final de humedad del grano, es decir, que se disminuye el coeficiente de variación, pero incrementa los tiempos de secado. para estas temperaturas el tiempo de secado llega a ser aproximadamente 14 horas respectivamente,

**Tabla 8-5.2:** Datos técnicos del prototipo.

Datos técnicos del prototipo	
Nombre	Secador mecánico de café
Año de fabricación	2021
Especificaciones del prototipo	
Sistema de alimentación	220V 60 Hz / 0,6 Amp
Capacidad máxima de trabajo	12 Kg CPh
Fuente de energía	Electricidad
Motor	0,87 HP / Bifásico
Peso	22 Kg
Alto	0,7 m
Ancho	0,66 m
Largo	0,60 m
Observaciones generales	
El equipo está en pruebas experimentales	

Fuente: (Elaboración propia 2021).

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

El prototipo de secador mecánico tiene como objeto demostrar el desarrollo de una innovación en su proceso de deshidratación de los granos de café, apoyándose en un método propio, resultado de investigar diferentes estados del arte y de las funcionalidades de equipos comerciales que buscan facilitar esta labor dispendiosa para el productor.

Para dar inicio a la investigación se realizó una búsqueda exhaustiva de los diferentes tipos de secadores que se encuentran en el mercado y los distintos prototipos teóricos que se plantean en artículos científicos, a partir de ello se determinó que la humedad debe oscilar entre el 10% y 13%, de lo contrario se afecta su peso y características fisicoquímicas. Debe tener un color uniforme y olor tradicional al café fresco sin aditamentos, el espesor de la capa de café debe estar entre 3 y 4 centímetros, la temperatura del aire comprimido caliente no debe superar los 50° C porque esto causa cristalización del grano, la exposición del café en el secador mecánico debe tener un tiempo promedio de 25 a 30 horas (Instituto Tecnológico Metropolitano, 2009)

El secador mecánico está elaborado con una estructura sólida y láminas galvanizadas en su exterior, en su parte interna cuenta con las herramientas y equipos de medición, acordes a su dimensión física, de igual manera tiene dos puertas y una tapa que facilita su manejo. El diseño presenta dos cubículos que son los que separan el cuadro de secado del secador, las mallas o cribas están hechas de madera y acero inoxidable 304 que dejan transitar el aire por los diferentes espacios. El modelo diseñado es característico de la investigación, este mismo emplea solo energía eléctrica y materiales de bajo costo que facilita a largo plazo el desarrollo de un modelo comercial, los materiales son de extensa duración y resistentes al entorno.

El mecanismo de control del prototipo cuenta con los siguientes elementos:

Un termohigrómetro que mide la temperatura y humedad relativa dentro del prototipo, el cual es necesario para un secado uniforme que conserve la calidad y características del grano de café, controlando los cambios bruscos de temperatura que se puedan presentar. Un anemómetro que expone la velocidad con la que circula el aire comprimido dentro del secador, este equipo ayuda a controlar que la velocidad del aire no sobrepase el parámetro establecido en la **Tabla 6-5.1**.

Un compresor que absorbe el aire a temperatura ambiente y lo comprime aumentando la misma y permitiendo el constante entorno cálido para el secado, este equipo funciona de manera eléctrica, reduciendo procesos contaminantes y su manipulación es sencilla para el agricultor, el diseño cuenta con un tablero de control eléctrico metálico certificado por el Retie, donde se enciende, se regula el tiempo de funcionamiento y facilita la operación del prototipo y a su vez mantiene la seguridad e integridad del operario (federaciondecafeteros.org, 2019).

Para la estandarización del sistema de secado se realizaron pruebas específicas desde las diferentes distancias de las mallas que se encuentran en el cubículo de secado, también se revisó el espesor de cada malla para generar los datos necesarios del procedimiento, esta información ayuda a despejar las hipótesis del secado y su eficiencia, por lo que se generó la información expuesta en la (**Tabla 7-5.2**), mostrando que la malla de la primer sección reduce la humedad inicial del 53% al 10% con un espesor de 1 cm, mientras que con un espesor de 4,5 cm se reduce la humedad al 14%, con una temperatura de 48° Celsius, un caudal de 36 m /s y un tiempo promedio de secado de 16 horas, permitiendo conocer un mejor rendimiento en el tiempo de secado.

Actualmente el secador mecánico presenta una eficiencia en el uso de su diseño y eficacia en la reducción de tiempos de secado del prototipo, en lo que respecta al consumo es un equipo que trabaja con conexión a 220 V, 60 Hz y una potencia de 650 W, reduciendo el trabajo de mano de obra por parte del productor y facilitando el secado del café pergamino, cumpliendo con los requerimientos de calidad e inocuidad.

Información destacada:

- Identificación de los requerimientos en el proceso de secado de café pergamino.

- Diseño de un secador mecánico de café a escala con cribas fabricadas con materiales de larga duración.
- Diseño de un mecanismo de control de medición de caudal y de temperatura, para la recolección de datos.
- Implementación del prototipo.
- Estandarización del sistema de secado de acuerdo al contenido de café, temperatura, caudal y tiempo.
- Medición de eficiencia del prototipo respecto al consumo eléctrico y mano de obra en el secado de café pergamino.

## 6.2 Recomendaciones

Dada la investigación de un prototipo innovador se puede resaltar a futuro la revisión de un cubículo cilíndrico para mejorar la circulación del aire comprimido, de igual forma se puede contemplar el uso de algunos ventiladores de tipo centrifugado que mejoren el caudal y minimicen el tiempo de deshidratación.

El prototipo es único en su diseño y se ha sometido a diferentes pruebas por lo que se puede plantear otra fase de anales a escala para aterrizar un modelo comercial que siga manteniendo su aspecto conservador del medio ambiente con la reducción de contaminantes y de optimo uso de su fuente de energía.

El prototipo a escala debe seguir manteniendo los objetivos por los que fue elaborado como lo es su construcción con materiales de larga duración, equipos electrónicos de fácil uso y mantenimiento, costos bajos en tanto a su infraestructura y la cualidad de proteger en todo momento el proceso inocuo y de calidad en el secado junto con la integridad del operario, con una proporción de espesor acorde a las variables.

## A. Anexo: Termo Higrómetro.

**DT-172**  
Datalogger de Temperatura y Humedad con Display



El DT-172 es un datalogger de humedad y temperatura, compacto y fácil de utilizar. Para una supervisión eficaz de los valores de temperatura y humedad. El equipo es ideal para el control de alimentos, almacenamiento de productos médicos, almacenaje y distribución, control en contenedores, procesos industriales, entornos de laboratorio y de museos.

### Características:

- Datalogger de temperatura y humedad
- Selección libre de tiempo de muestreo de 2 sec. a 24h
- Duración de batería: más de 3 años
- Descarga de datos recolectados a través de interfaz USB
- Configuración de alarma de máximos y mínimos definida por el usuario
- Software de análisis con gráfica de datos recolectados

### Especificaciones:

	DT-172
Rango de temperatura	-40 a 70°C -40 a 158°F
Precisión de temperatura	±1°C
Rango de humedad	0 a 100%RH
Precisión de humedad	±2%RH
Memoria	32.000 (16.000 cada uno para temperatura y humedad)
Tasa de muestreo	1sec. a 24h
Duración de batería	Típica de 3 años
Software de análisis	Windows 98/2000/XP/Vista/7

### Accesorios:

Batería de litio de 3,6 V, software, candado y soporte.

Actualización Añ-2015

Fuente: ( Industrias Asociadas S.A.S, 2021)

## B. Anexo: Medidor De Humedad

### Medidor Avanzado de Humedad en Granos y Semillas

#### Medición instantánea de humedad en Objetos Pequeños

Este instrumento de fácil utilización proporciona una medición instantánea, no destructiva, del contenido de humedad de los granos, semillas y otros objetos pequeños. El PM450 se basa en nuestros años de éxito en medidores de granos, actualizando nuestro PM410 con numerosas nuevas características y mejoras. El medidor de humedad PM450 tiene 26 calibraciones de fábrica, cubriendo gran parte de los granos más populares con un compacto, cargado a batería, medidor de humedad portátil a mano. Las Calibraciones pueden ser ajustadas para condiciones locales. Si usted precisa calibraciones personalizadas por favor contáctenos por nuestro PM650. Algunas de las principales calibraciones en el PM450 son: humedad de trigo, humedad de cebada, humedad de maíz, humedad de soja, humedad de avena, humedad de arroz, humedad de frijoles y humedad de café. La lista de calibración actual se muestra en: [Calibraciones del Medidor de Humedad PM450](#).

Una medición adecuada es alcanzada sin un pre-procesamiento de las muestras mediante desecando y molido que usualmente es requerido en dispositivos de la competencia. Esto reduce dramáticamente todos los ciclos de testeó en general, permitiéndole a usted focalizarse en mejorar la calidad del producto y no en la preparación de las muestras.

#### Operado Simple – Resultados de Nivel Mundial

Para testear una muestra, simplemente complete la copa de muestra y vierta la muestra en la PM450. El contenido de humedad se mostrará de inmediato así también. Para la documentación de la prueba, está disponible una salida digital para una computadora o impresora opcional. Grandes botones e íconos, alarmas audibles y sonidos de confirmación ayudan a los operarios a tener confianza en sus mediciones y procedimientos incluso en los ambientes más estresantes.



- Seleccione la calibración del producto
- Vierta la muestra y presione MEA
- Los resultados de la prueba se mostrarán instantáneamente!

#### Estabilidad de Medición Subsuperficial

Las Mediciones se hacen utilizando la Capacidad, comparando la constante dieléctrica de la muestra sólida con agua. Un balance integrado y un termistor de temperatura proporcionan una compensación de temperatura y densidad automática. Estos componentes y el diseño de la copa de muestra y las celdas de medición se combinan para proporcionar la estabilidad y precisión sin igual cuando se compara con los medidores estándar de pérdida de secado.

#### Movilidad sin Igual

El PM450 es cargado a batería y tiene un gran agarre para un fácil manejo. Pesando menos de 1.5kg (3lbs) puede ser usado por cualquiera, en donde sea adecuándose instantáneamente para la medición de humedad que se precise. En los campos, en subastas, durante la recepción de inspecciones, en la parte superior de camiones, en vagones de ferrocarril y otras formas de almacenamiento...el PM450 es un medidor de humedad universal para una enorme variedad de aplicaciones e industrias.

#### Diseñado para años de Uso estable

El PM650 es el último diseño de Kett, el líder mundial en medidores portátiles de humedad e instrumentos de testeó. Kett se mantiene detrás de los sistemas PM650 con una garantía de fabricación de Un-Año en piezas y mano de obra. La Solvencia y confiabilidad de

#### Especificaciones

Modelo	PM450
Principio de Medición	Capacitancia (Di-Eléctrico)
Rango de Medición	Humedad - 1-40% Depende del producto
Calibración del Producto	Una amplia variedad de semillas y granos (ver <a href="#">Calibraciones</a> para obtener una lista)
Volumen de Muestra	Aproximadamente 24.0ml
Tiempo de Respuesta	Instantánea
Precisión	+/- 0.5% (bajo el 20%)
Resolución	0.1%
Display	Producto, Valor, Densidad
Temperatura Ambiente	0-40°C
Humedad Ambiental	0-85% RH (no-condensada)
Características	Densidad Automática y compensación de temperatura, auto-epagado, promedio
Tipo de pantalla	Backlit LCD
Comunicaciones	-
Energía	Baterías 4AA
Peso (kg) (Neto/Embarque)	1.3/2.2
Dimensiones (mm)	125(W)x215(H)x205(D)
Opciones	-
Garantía	Un año en piezas y mano de obra de mantenimiento. Acuerdos disponibles

Kett le permite enfocarse productivamente en el mejoramiento de la calidad de sus productos y no gastar tiempo en calibraciones y verificaciones de nuestros indicadores. Kett es reconocida mundialmente como el líder mundial en instrumentos de medición de granos. Con más de 65 años diseñando y fabricando con excelencia, el PM650, como todos los instrumentos Kett, es el estándar en el cual los otros son juzgados.

#### Las Mediciones del Mañana, Hoy!

Además de nuestro PM650 único, Kett fabrica cerca de 200 instrumentos diferentes. Disponibles para portátiles manejadas a mano, equipos de laboratorio o aplicaciones de procesos en línea, si usted tiene requerimientos de mediciones, le ofrecemos soluciones...hoy! Si usted precisa medir componentes orgánicos - de forma adecuada, rápida y fácil, desea hacer un pedido o pedir orientación adicional en la selección del modelo, por favor llame gratis a Kett!

**1-800-GET-KETT**

	PMB 504, 17853 Santiago Boulevard, Suite 107, Villa Park, CA 92861 714-974-8837 • 714-974-8877 (FAX) <b>1-800-438-5388</b> www.Kett.com <b>Sales, Support, Service</b>	<b>ISO 9001</b>     
	© 2013- 2016 Kett US - Todos los derechos reservados –Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso	

BRPM450.02

## C. Anexo: Anemómetro

13/02/2021 Mini Anemómetro Digital UNI-T UT363, Velocidad y Temperatura del Viento

[Términos y condiciones](#) [Como Comprar](#) [Lista de deseos \(0\)](#) [Comprar \(0\)](#)



[Inicio / Mini Anemómetro Digital UNI-T UT363, Velocidad y Temperatura del Viento](#)



### Mini Anemómetro Digital UNI-T UT363, Velocidad y Temperatura del Viento

UNI-T

UT363 mini medidores de velocidad y temperatura del viento. UT363 mide velocidades de viento de hasta 30 m / s

[Descripción](#)

---

UT363 mini medidores de velocidad y temperatura del viento. UT363 mide velocidades de viento de hasta 30 m / s

Presupuesto	UT363
Velocidad del viento	0 ~ 30 m / s
Presión de la velocidad del viento: (5% rdg + 0.5) Resolución de la velocidad del viento	0.1m / s
Temperatura	-10 ~ 50 °C
	14 ~ 122 °F
Exactitud de la temperatura	± 2 °C / ± 4 °F
Resolución de la temperatura	0.1 °C / 0.2
Escala de viento	Nivel 0 ~ 12
Exactitud de la escala de viento	± 1
Tasa de muestreo	0.5s

**Características**

Indicación de sobrecarga (> 45m / s)OL

MAX / AVG	√
Retención de datos	√
LCD luz de fondo	√
Apagado automático	5 minutos
Indicación de batería baja	3V ~ 3.5V

**Características generales**

Poder	Batería de 1.5V (R03) x 3
Monitor	32 mm x 26 mm
Color del producto	Rojo y gris
Peso neto del producto	118g

**Nuestra Empresa**

- ▣ Inicio
- ▣ Nosotros
- ▣ Políticas de envió
- ▣ Términos y condiciones
- ▣ Como Comprar
- ▣ Contacto
- ▣ Tiendas

**Contáctenos**

DUALTRONICA

▣ Calle 16 # 6-55Local 32 CC BulevarPereira - Risaralda

▣ (+57) 318 7295517

▣ ventas@dualtronica.com

<https://dualtronica.com/inicio/450-mini-anemometro-digital-uni-t-ut363-velocidad-y-temperatura-del-viento.html>



Fuente: (Dualtronica, 2020)

## D. Anexo: Unidad Compresora

Herramientas neumáticas de pintura multifunción Pistola de pulverización eléctrica 650W Aerógrafo con compresor Pulverizador

SKU: #HE67545

Herramientas neumáticas de pintura multifunción

Pistola de pulverización eléctrica 650W Aerógrafo con compresor Pulverizador de pintura sin aire HVLP Pistola de pulverización eléctrica para pintar



### Detalles

Hecho de plásticos de ingeniería de alta calidad, es ligero y fácil de trabajar durante mucho tiempo. Adopta el avanzado sistema HVLP (Sistema de aire de alta presión y bajo volumen) que permite una pulverización constante para brindar una cobertura superior de una sola capa y evita el exceso de rociado / desperdicio de pintura bill dió ditjt bl d 3 í mucho tiempo.

brindar una cobertura superior de una sola capa y evita el exceso de rociado / desperdicio de pintura.

La boquilla de marcación directa ajustable de 3 vías proporciona tres patrones de rociado intercambiables que incluyen chorro plano horizontal, chorro plano vertical y chorro circular para alcanzar esquinas, puntos y ángulos diferentes. Ajústelo fácilmente para adaptarse a diferentes lugares para un chorro de pulverización óptimo.

Todas las partes del rociador de pintura se pueden desmontar fácilmente para facilitar la limpieza.

Adecuado para el uso de pinturas al óleo y látex, selladores, manchas, imprimaciones, lacas, etc. para la aplicación de pintura dentro o fuera de muebles, persianas, celosías, cobertizos, cercas, garajes, cubiertas y casas.

#### Especificaciones:

Material: Plástico

Color: amarillo + negro

Voltaje: 220 V, 50 ~ 60Hz

Potencia nominal: 650 W

Velocidad del motor: 0r / min.

Volumen de pulverización: 1000 ml / s

Longitud de la manguera: 1.1M

Volumen de copa: OML

Calibre de pulverización: 2.5 rociadores de plástico

Peso neto: 1300 g / 45.85 oz

Tamaño: 31 \* \* 20 cm / 12.20 \* 5.11 \* 7.87in

#### Lista de empaque:

1 \* unidad principal

1 \* tubo

1 \* correa de transporte

1 \* taza de medición de viscosidad

1 \* pistola de pulverización

1 \* contenedor

1 \* clip de limpieza

1 \* manual

[https://www.vveninserin.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=675452/3](https://www.vveninserin.com/index.php?main_page=product_info&products_id=675452/3)

Fuente: (VVENIN, 2018)



## 7. Bibliografía

- Industrias Asociadas S.A.S. (5 de 1 de 2021). *Industrias Asociadas S.A.S.* Recuperado el 12 de 4 de 2021, de Industrias Asociadas S.A.S.:  
<https://www.industriasasociadas.com/producto/datalogger-de-temperatura-y-humedad-con-display/>
- Arismendy, J. H. (15 de 12 de 2016). Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza. *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza*, 100. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 11 de 10 de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/51841/1/1128270450.2016.pdf>
- Bastidas, G. J. (1990). Ecuación de capa delgada para café pergamino. *Cenicafe*, 8. Recuperado el 4 de 10 de 2020, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/842/1/arc041%2804%2995-102.pdf>
- Buitrago Bermudez, O., Ospina, J., & Alvarez, J. (30 de 08 de 2015). Implementación del secado mecánico de café en carros secadores. *Universidad Nacional*, 7. Recuperado el 4 de 01 de 2021, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/33613/20717-70062-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Café de Colombia. (10 de 08 de 2018). *cafedecolombia*. Recuperado el 15 de 10 de 2020, de [cafedecolombia: https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/](https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/)
- Cenicafe. (3 de 07 de 2018). *Cenicafe*. Recuperado el 10 de 10 de 2020, de Cenicafe: [https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla\\_21.\\_Secado\\_del\\_cafe.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21._Secado_del_cafe.pdf)
- Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE. (20 de 08 de 2019). *Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE*. Recuperado el 5 de 10 de 2020, de Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18721>
- Colombia, F. N. (10 de Mayo de 2008). *Cenicafe*. Recuperado el 8 de 03 de 2021, de Cenicafe: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/399/1/avt0371.pdf>
- Comité Editorial Cenicafé. (2015). Beneficio del Café en Colombia. En C. E. Cenicafé, *Beneficio del Café en Colombia* (pág. 37). Medellín: Comité de Cafeteros.

Recuperado el 29 de 10 de 2020, de  
[https://www.cenicafe.org/es/publications/Final\\_libro\\_Beneficio\\_isbn.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf)

Coronado Parra, A., Mejía Roa, G., & Oliveros Tascón, C. E. (25 de 01 de 2008). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13. Recuperado el 20 de 07 de 2020, de Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662008000400013&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662008000400013&script=sci_abstract&tlng=es)

Corpoica. (2014). *Curso de capacitación técnicas a las Umata*. Palmira: Corpoica. Recuperado el 22 de 04 de 2019, de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20041/76203\\_59242.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20041/76203_59242.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dualtronica. (8 de 5 de 2020). *Dualtronica*. Recuperado el 10 de 4 de 2021, de Dualtronica: <https://dualtronica.com/inicio/450-mini-anemometro-digital-uni-t-ut363-velocidad-y-temperatura-del-viento.html>

Federación de Cafeteros. (20 de 03 de 2020). *Federación de Cafeteros*. Recuperado el 30 de 10 de 2020, de Federación de Cafeteros: <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>

federaciondecafeteros.org. (14 de 04 de 2019). *federaciondecafeteros.org*. Recuperado el 25 de 10 de 2020, de federaciondecafeteros.org: <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/>

*Fondo Nacional de Café*. (7 de 4 de 2013). Recuperado el 12 de 03 de 2021, de Fondo Nacional de Café: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>

Fontal, E. M. (1 de 4 de 2006). Secado de café en lecho fluidizado. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 6. Recuperado el 5 de 2 de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64326102.pdf>

González-Salazar, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Oliveros-Tascón, C. E. (2010). Control de caudal y temperatura de aire en el secado mecánico de café. *Cenicafé*, 16. Recuperado el 15 de 9 de 2020, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061%2804%29281-296.pdf>

Hincapié, C. A., & Bedoya Loaiza, F. (09 de 08 de 2007). Calculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café. *Scientia et Technica*, 6. Recuperado el 21 de 12 de 2020, de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5411>

- Instituto Tecnológico Metropolitano. (2009). *IHacia la mejora del secado mecánico del café en Colombia* (1 ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: Instituto Tecnológico Metropolitano. Recuperado el 9 de 10 de 2020, de Instituto Tecnológico Metropolitano: <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234316007.pdf>
- Kett. (17 de 8 de 2016). *Kett*. Recuperado el 12 de 4 de 2021, de Kett: <https://www.kett.com/files/brpm450sp.pdf>
- Milena, S., Paz Torres, G., & Rojas Carvajal, A. H. (10 de 08 de 2007). "Diseño de secadora de café totativa como aprovechamiento de la energía biomasa". *"Diseño de secadora de café totativa como aprovechamiento de la energía biomasa"*, 288. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado el 17 de 10 de 2020, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6180/T04187.pdf?sequence=1>
- Parra Coronado, A., Roa Mejía, G., Oliveros Tascón, C. E., & Saenz Uribe, J. R. (2017). *Optimización Operacional de secadores mecanicos para café pergamino*. Bogota, Colombia: Cenicafe. Recuperado el 10 de 03 de 2021, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Patiño Velasco, M. M., Pencue Fierro, E. L., & Cañas Vargas, R. (10 de 12 de 2016). Determinación del contenido de humedad en granos de café pergamino seco utilizando speckle dinámico. *Dialnet*, 7. Recuperado el 4 de 12 de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117856>
- Peñuela Martínez, A., Jurado Machado, J., & Oliveros Tascón, C. (7 de 04 de 2013). *Fondo Nacional de Cafe*. Recuperado el 27 de 02 de 2021, de Fondo Nacional de Cafe: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/385>
- Planeación Departamental del Huila. (10 de 07 de 2019). *Sirhuila*. Recuperado el 12 de 11 de 2020, de Sirhuila: <http://sirhuila.gov.co/index.php/162-medicare/blog/1688-produccion-de-cafe-en-el-huila-crecio-en-el-ultimo-ano>
- Prada, Á., P. Vela, C., Bardález, G., & Saavedra, J. (6 de 12 de 2019). Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú. *Scielo*, 8. Recuperado el 12 de 02 de 2021, de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600085&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600085&script=sci_arttext)
- Prada, Á., P. Vela, C., Bardález, G., & Saavedra, J. (19 de 12 de 2019). Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú. *SCIELO*, 8. Recuperado el 22 de 09 de 2020, de

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000600085](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600085)

- Quintero, G. I. (23 de 10 de 2013). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Recuperado el 19 de 01 de 2021, de Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/418/1/avt0352.pdf>
- Shanbhag, Nitin G. (22 de 08 de 2014). Hitachi Industrial Equipment. *Hitachi Industrial Equipment*, 8. Recuperado el 5 de 11 de 2020, de [http://www.hitachi-america.us/supportingdocs/forbus/isd/white\\_papers/Hitachi\\_White\\_Paper\\_Piping%20Spanish%20LR.PDF](http://www.hitachi-america.us/supportingdocs/forbus/isd/white_papers/Hitachi_White_Paper_Piping%20Spanish%20LR.PDF)
- T., M. A. (04 de 03 de 2021). *AGRICULTURA & GANADERÍA*. Recuperado el 5 de 03 de 2021, de *AGRICULTURA & GANADERÍA*: <https://www.agriculturayganaderia.com/website/produccion-colombiana-de-cafe-crecio-11-en-febrero-de-2021/>
- Tropical, C. I. (2015). *INFORME FINAL TÉCNICO PROYECTO —PRODUCTORES DE*. Palmira: Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria, FONTAGRO. Recuperado el 24 de 06 de 2019, de [https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2006/01/final\\_infotec\\_06\\_16.pdf](https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2006/01/final_infotec_06_16.pdf)
- VVENIN. (2 de 11 de 2018). *VVENIN*. Recuperado el 24 de 03 de 2020, de *VVENIN*: [https://www.vveninserin.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=67545](https://www.vveninserin.com/index.php?main_page=product_info&products_id=67545)