 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

SECADO DE CAFÉ PERGAMINO CON TAMBOR ROTATORIO USANDO DESHUMIDIFICACION CON BOMBA DE CALOR Y CON COMPRESOR TIPO INVERTER


Juan Guillermo Cossío Restrepo
Alex Alejandro Zuleta Gaviria

Ingeniería Electromecánica

Carlos Alberto Acevedo Álvarez, IM

Jonathan Díaz Ortiz, IEM


**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN-COLOMBIA
2017**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

En este proyecto se desarrollará un estudio comparativo entre las diversas tecnologías empleadas en el secado de café pergamino, en función de la generación de gases de efecto invernadero, trazas de carbono, y costo en el secado del café, logrando así analizar los beneficios ambientales y económicos generados al implementar una secadora de café con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y compresor tipo inverter (inversor), Se estudiará la forma de realizar una modificación, adaptación e implementación del sistema de control de los compresores tipo inverter (inversor), logrando una optimización del control de las variables temperatura y humedad en el proceso, mejorando la calidad del café pergamino. El proyecto también tiene como finalidad realizar los planos del prototipo para una posterior fabricación y puesta en marcha, además de una actualización del estado del arte de las diferentes tecnologías empleadas en el secado del café.

Palabras Claves: secado de café, secador de tambor rotatorio, compresor inverter (inversor).


 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

AGRADECIMIENTOS

Queremos ofrecer un reconocimiento para el desarrollo de este trabajo de grado al Ingeniero y Doctor Carlos Alberto Acevedo. Una persona entusiasta por brindar sus conocimientos y ser la persona que nos ha orientado, apoyado y corregido, con un interés y una entrega que ha sobrepasado las expectativas que como alumnos teníamos.


Nuestro agradecimiento también es a la Institución Universitaria ITM, junto a sus funcionarios y planta de docentes por habernos aportado valores y conocimiento dentro de nuestro proceso de profesionalización pues sin ellos hubiese sido imposible obtener los logros deseados como Ingeniero en Electromecánica.

Nuestro reconocimiento también es para el ingeniero Jonathan Díaz Ortiz por habernos dado la oportunidad de realizar este proyecto, además de haber compartido sus conocimientos, comentarios, y críticas constructivas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ACRÓNIMOS

FNC	Federación Nacional de Cafeteros.
CENICAFE	Centro Nacional de Investigación del Café
OMS	Organización Mundial de la Salud
BECOLSUB	Beneficios Ecológicos Subproductos
PVC	Poli cloruro De Vinilo
IFC	Secador Intermitente de Flujo Concurrente
SDS	Sistema de Secador Solar
GEI	Gases de efecto Invernadero
CH ₄	Metano
HFC,	Hidrofluorocarbonos
PFC	Perfluorocarburos
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
cps	Café pergamino seco
kg	Kilogramo
lb	Libra masa
m	Metro
m ²	Metro Cuadrado
t	Tonelada
rpm	Revoluciones por minuto
m ³	Metro Cúbico
@	Arroba
cm	Centímetro

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

CO ₂	Dióxido de Carbono
mm	Milímetro
h	Hora
ppm	Partes por Millón
tcps	Tonelada de café pergamino seco
GLP	Gas Licuado del Petróleo
mA	Miliamperio




 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	111
1.1 Formulación del Problema.....	11
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivos Generales	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Justificación	12
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Historia del Café en Colombia.....	13
2.2 Beneficios del consumo de café.....	14
2.3 De la Planta a la Taza.....	15
2.3.1 El fruto:	15
2.3.2 La Cosecha:.....	17
2.3.3 Procesamiento:	1717
2.3.4 Control Calidad:	2020
2.4 Secado de café en Colombia:	25
2.5 Equipos de secado de café.....	2525
2.5.1 Secador solar de túnel	25
2.5.2 Secador solar parabólico	27
2.5.3 Secador por lecho fluidizado	28
2.5.4 Secador mecánico de capa fija	30
2.5.5 Secador Mecánico de Capa Móvil.....	31
2.5.6 Secador de café vertical de dos pisos.....	3232
2.5.7 Secador rotativo.....	33
2.5.8 Secadores de última generación	35
2.6 Secado de productos agrícolas.....	4040
2.6.1 Teoría del secado	4141
2.6.2 Curva de secado.....	4242
2.7 Trazas de carbono y gases de efecto invernadero.....	4343
2.7.1 Trazas de carbono:	43
2.7.2 Gases de efecto invernadero	4444
2.7.3 Beneficios en la reducción de las trazas de carbono y los gases de efecto invernadero en la comercialización del café.....	4444

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.8 Compresor inverter	4545
2.8.1 Que es un compresor.....	4545
2.8.2 Tecnología de compresor inverter	4545
2.8.3 Funcionamiento y ventajas.....	4747
2.8.4 Tipos de compresores en el sistema inverter	4848
2.8.5 Eficiencia energética de los compresores:	4848
3. METODOLOGIA	4949
4 Resultados y Discusiones	5050
4.1 Análisis comparativo entre las tecnologías utilizadas en el secado de café en función de la generación y de gases de efecto invernadero, trazas de carbono y costo en el secado del café.....	5050
4.1.1 Secadores solares	5050
4.1.2 Secadores mecánicos.....	5050
4.1.3 Secador con tambor rotatorio usando deshumidificación con bomba de calor y con compresor tipo inverter.....	51..51
4.2 Planos del prototipo secador de café pergamino con tambor rotatorio usando deshumidificación con bomba de calor y con compresor tipo inverter.55.....	55
4.2 Descripción y planos isométricos.....	55
4.2.1 Caja cámara del serpentín.....	55
4.2.2 Tambor rotativo.....	56
4.2.3 Soporte delantero y trasero.....	57
4.2.4 Puerta de caja del secado.....	58
4.2.5 Salida del aire.....	59
4.2.6 Serpentin.....	60
4.2.7 plano estructural del secador rotativo.....	61
4.3 Tarjeta de control de los compresores tipo inverter instalado en un aire acondicionado marca Bosch.....	61
4.3.1 Partes de la tarjeta.....	6161
4.3.2 Descripción y operación.....	6363
5 CONCLUSIONES	7070
6 REFERENCIAS	71

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del fruto de café	166
Figura 2: Costos de Producción del Café en Colombia	177
Figura 3: Tolva Húmeda y Tolva Seca para recibo de café	188
Figura 4: Métodos de lavado de café a) tanque b) canal de correteo c) bomba sumergible	20
Figura 5: Defecto del Gano negro o parcialmente negro.....	211
Figura 6: Defecto por ataque de hongos	21
Figura 7: Defecto del café vinagre o parcialmente vinagre.....	222
Figura 8: Defecto del grano o Cristalización.....	222
Figura 9: Defecto por granos Mordidos o Cortados.....	233
Figura 10: Defecto por Picadura de animales	23
Figura 11: Defecto Arrugado.....	244
Figura 12: Defecto del grano inmaduro.....	24
Figura 13: Secadora solar de túnel.....	26
Figura 14: Secador terraza suspendida `` terreiro suspenso``	266
Figura 15: Secador Solar Parabólico	277
Figura 16: Secador Tipo Domo.....	288
Figura 17: Secador por lecho fluidizado.....	29
Figura 18: Secador horizontal de lecho fluidizado.....	30
Figura 19: Secador Mecánico de Capa Fija	31
Figura 20: Secado Mecánico de Capa Móvil.....	311
Figura 21: Secador de Café Vertical de dos Pisos.....	322




 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Figura 22: <i>Secador de Café Vertical de Tres Pisos</i>	33
Figura 23: <i>Secador Rotativo de Café</i>	34
Figura 24: <i>Secador rotativo para café y otros granos</i>	344
Figura 25: <i>Secador intermitente de Flujo Concurrente</i>	355
Figura 26: <i>Secador Solar con Ranura</i>	36
Figura 27: <i>Sistema de secador solar de efecto invernadero con quemador diésel</i>	37
Figura 28: <i>Secador flexible</i>	38
Figura 29: <i>Secador Neumático</i>	39
Figura 30: <i>Secado por método dryeration</i>	40
Figura 31: <i>Curva de secado</i>	42
Figura 32: <i>Comparación entre un Compresor Convencional y un Compresor Tipo Inverter</i>	466
Figura 33: <i>Impacto ambientales en la producción de Energía eléctrica</i>	52
Figura 34 <i>Plano Estructural</i>	61
Figura 35: <i>Tarjetas de Control CE-KFR26G/BP2AJYV1</i>	644
Figura 36: <i>Sensores de Temperatura</i>	655
Figura 37: <i>Diagrama Eléctrico Tarjeta de Control Interior</i>	677
Figura 38: <i>Diagrama Eléctrico Tarjeta de Control Exterior</i>	68

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ÍNDICE DE PLANOS ISOMÉTRICOS

Plano Isométrico 1: Caja Cámara de Serpentin.....	555
Plano Isométrico 2: Canasta.....	566
Plano Isométrico 3: Soporte Delantero	577
Plano Isométrico 4: Soporte Trasero	577
Plano Isométrico 5: Puerta	588
Plano Isométrico 6: Puerta Caja de Secado	58
Plano Isométrico 7: Salida de Aire.....	59
Plano Isométrico 8: Serpentin	60

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	


1. INTRODUCCIÓN

1.1 Formulación del Problema

En Colombia el secado del café se ha realizado tradicionalmente mediante dos métodos, el secado solar y el secado mecánico, en el secado solar, se beneficia de la energía del aire y la radiación solar para retirar la humedad del grano, pero lo convierte en un método dependiente de las condiciones del clima; con la ventaja de ser económico.

En el secado mecánico se utiliza una fuente externa de calentamiento, en su mayoría combustibles para aumentar la temperatura del aire por encima de 50°C (Gutierrez F. , 2011) e inducir con un ventilador el aire caliente sobre las capas del grano colocadas en las bandejas de las cámaras de secado; en este método presentan gases de efecto invernadero y genera trazas de carbono, además de presentan caídas de presión en el aire al pasar por las bandejas, dejando sometiendo al café a diferentes condiciones de temperatura y humedad, lo cual no es ideal para lograr una buena calidad del café. Por esta razón, realizaremos este proyecto para buscar en el estudio de los diferentes tipos de secado. Para tener una base que nos permita demostrar la utilización del secador de café pergamino con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y compresor tipo inverter (inversor) como primera medida lograr mejorar los tiempos de secado, con bajas emisiones de gases, huellas de carbón y con el tambor rotativo se logrará un secado más homogéneo del café, logrando mantener los sabores y aromas deseados en el mismo, mejorando la calidad y permitiendo que este sea competitivos.

Para la implementación de la bomba de calor es necesario realizar modificaciones al sistema de control del compresor inverter (inversor) por sus especificaciones y funcionamiento, con el apoyo del Ingeniero Jonathan Díaz realizaremos las modificaciones necesarias para su correcto funcionamiento y puesta en marcha para el beneficio del secador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Construir un secador de café pergamino con tambor rotatorio, bomba de calor y compresor inverter (inversor) con el fin de reducir los gases de efecto invernadero y minimizar el tiempo de secado.

1.2.2 Objetivos Específicos


- Elaborar el estado del arte entre las diferentes tecnologías utilizadas en el secado de café pergamino
- Desarrollar un estudio comparativo de las tecnologías utilizadas en el secado de café en función de la generación y de gases de efecto invernadero, trazas de carbono y costos del secado de café
- Realizar la ingeniería del detalle en la elaboración de los planos del prototipo
- Adaptar el sistema de control del compresor inverter (inversor) al secador de café pergamino con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor

1.3 Justificación

El proceso de secado de café en Colombia se realiza tradicionalmente mediante el método de secado solar, en el cual se utiliza la radiación producida por el sol y la entalpía del vapor del agua en el aire atmosférico para remover la humedad del grano (Gutierrez & Copete, 2009), otro método muy empleado es el secado mecánico, el cual utiliza una fuente externa de calentamiento para aumentar la temperatura del aire hasta 50°C (Gutierrez F. , 2011) para luego ser impulsado por un ventilador a través de capas de grano que se encuentran alojados en varios compartimientos.

Durante el proceso de secado, la humedad del grano debe ser reducida con valores cercanos al 55% hasta un valor de comercialización entre 10 y 12 % lo cual por el primer método requiere entre 40 a 50 horas de sol, con condiciones climáticas adecuadas y movimiento frecuente del grano (Bermudez O. B., 2008), Y para el segundo método el limitante es el costo de los combustibles utilizados como fuente externa de calentamiento y la generación de trazas de carbono y gases de efecto invernadero.

En este proyecto se plantea la adaptación de un compresor inverter (inversor) al secador de café pergamino con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor, debido a que el sistema de control de compresor inverter (inversor) está diseñado inicialmente para trabajar en función del control de temperatura de un aire acondicionado marca Bosch es necesario realizar un estudio de los componentes de la tarjeta de control del aire acondicionado, teniendo en cuenta la parte de control para su posterior

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

adaptación al secador para que logre cumplir con los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto de investigación del secador de café pergamino.


La razón por la que se utilizara un compresor tipo inverter (inversor) es debido a que este permite aumentar el rendimiento energético del sistema de secado logrando con esto mejorar los tiempos de secado y sabiendo que un buen secado de café asegura un mayor beneficio económico al productor, debido a que un producto seco tiene poco o ningún deterioro si es bien almacenado y mantiene los sabores y aromas deseados. Y adicional se están generando cero emisiones de gases de efecto invernadero y trazas de carbono durante el proceso de secado del café pergamino.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del Café en Colombia

No se sabe con certeza como llego el café a nuestro país pero los indicios históricos señalan que el café llego a Colombia hacia 1730, la historia indica que las semillas de café llegaron por el oriente del país traída por algunos viajeros desde las Guayanas y a través de Venezuela. Históricamente el escrito más antiguo que data la presencia de café en nuestro país se le atribuye al sacerdote jesuita José Gumilla el cual registró su presencia en el libro Orinoco ilustrado. Los primeros cultivos de café crecieron en la zona oriental del país y luego se fue distribuyendo hacia el centro y occidente; a través de Cundinamarca, Antioquia y la zona del antiguo caldas.


A sabiendas del desarrollo temprano del grano en el país la consolidación del café como un producto de exportación solo ocurrió a partir de la segunda mitad del siglo XIX siendo Estados Unidos, Alemania y Francia los mayores consumidores de ese café exportado desde Colombia. Aunque los nuevos cafeteros demostraron una gran capacidad para crecer en la producción del grano, en Colombia no tuvo un gran dinamismo en el mercado mundial, pero entre 1905 y 1935 la industria del café en Colombia creció de una forma dinámica gracias a la visión de los políticos de la época y a la creación de la Federación Nacional de Cafeteros en 1927. (Cafeteros, 2010). En 1930 Colombia se convirtió en el segundo productor de café del mundo, la unión de campesinos y pequeños productores en torno a la Federación de Cafeteros ha permitido afrontar los retos que cada comerciante y productor individualmente no habría podido sortear. La creación de Cenicafé en 1935 ha permitido desarrollar sistemas de cultivo y de trazabilidad que permitieron garantizar la calidad del producto. En la actualidad la región cafetera en el país está comprendida entre todas las cordilleras y zonas montañosas, generando ingresos a más de 563.000 familias productoras del grano. Y realizando exportaciones a diversos países como son Alemania, EEUU, Australia, Bélgica, Canadá, Chile entre otros. En el año 2010 se exportaron más de un millos de sacos de café a todo el mundo lo que equivale a un valor superior a los 255 millones de dólares (Cafeteros, 2010) ratificando a Colombia como el tercer país exportador de café en el mundo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.2 Beneficios del consumo de café:

El consumo diario de café se realiza en todas las regiones de Colombia y en todas partes del mundo, pero como pasa con tantas otras cosas que disfrutamos en nuestra vida cotidiana, nos preguntamos a veces si será bueno para nosotros y nuestra salud. De la cantidad de estudios que se realizan sobre el tema va quedando cada vez más claro que el consumo de café en una cantidad moderada no repercute en nuestra salud y por el contrario puede incluso tener algunos efectos benéficos:

- **Protección contra el Alzheimer:** El conocimiento de la función del café como factor de protección y prevención de la enfermedad del Alzheimer ha aumentado a medida que se ha demostrado en estudios científicos que la ingestión de cafeína va asociada a un menor riesgo de Alzheimer. Uno de esos estudios se llevó a cabo en Canadá en donde se hizo un muestreo a personas adultas Las cuales tenían edades superiores a los 65 años. Durante los 5 años que duró la investigación se determinó que el consumo de café reducía de manera significativa el riesgo de padecer esta enfermedad. (Joan Lindsay, 2002)
- **Reducción del sueño:** Uno de los mitos más comunes en el consumo del café es la reducción de la capacidad de conciliar el sueño. Todos sabemos que el café nos reanima durante el día y conocemos su efecto inmediato que este produce a nuestra capacidad de concentración, por lo que puede significar que tardemos más en dormirnos, pero los estudios efectuados demuestran que la fase de sueño no se ve afectada. El estudio se realizó a 1498 empleados de compañías eléctricas y de gas natural que trabajan en el suroriente de Francia donde se evalúa el tiempo de sueño y la ingestión diaria de cafeína, con este estudio se demostró que a pesar de los efectos agudos conocidos de la cafeína en el sueño el uso habitual de hasta 7 tazas de café equivalente al consumo de 600 mg de cafeína por día no se asocia con una disminución de la duración del sueño y otros factores tales como la edad y problemas familiares repercuten de manera más considerable en la reducción del sueño. (Ortunoa, Moore, & Taillard, 2004)
- **Alivio de la Cefalea:** En nuestra sociedad cada día las personas que sufren de dolores de cabeza va en aumento, por tal motivo las investigaciones demuestran que una taza de café puede aliviar esos síntomas, es una excelente noticia para todos. En un estudio realizado se demostró que al suministrar una combinación de cafeína y un analgésico conocido como ibuprofeno a 301 personas que sufrían de frecuentes dolores de cabeza el 80% de los pacientes presento una considerable mejoría en el término de seis horas, mientras que los que tomaron solamente el analgésico esa mejoría se redujo al 67%. El resultado de estas investigaciones sugiere que el ibuprofeno y la cafeína se administran juntos proporcionando de esta manera una mayor eficacia analgésica que cada componente por separado. (Diamond, TK, & FG, 2000)
- **Tratamiento del asma:** El asma es una enfermedad crónica de los pulmones que inflama y estrecha las vías respiratorias, En los últimos 20 años esta enfermedad ha aumentado notablemente en el mundo entero. Y según datos suministrados por la Organización Mundial de la Salud se calcula que hay 235 millones de personas con

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

asma. Los efectos beneficiosos del café en el asma se conocen desde hace más de un siglo, y el café se emplea para tratar esa enfermedad en Escocia desde 1859. Investigaciones recientes confirman ese efecto. En un estudio realizado con 72.284 personas de Italia se observó que la incidencia del asma descendía 28% cuando se bebían tres o más tazas al día. (Pagano, Negri, & Decarli, 2011) se llegó a resultados similares en un segundo estudio realizado por el departamento de Salud y Nutrición Nacionales de los EE UU en el que, en un grupo de 20.322 personas, la incidencia del asma descendió 29%. (Schwartz & Weiss, 1992)

- Mejora en la atención y memoria:** Se han hecho innumerables estudios tanto en humanos como en animales de experimentación que han dado resultados claros en cuanto a los beneficios de la ingesta de cafeína sobre la atención. La cafeína es un psicoestimulante, dado que su ingesta da lugar a una cantidad de sensaciones subjetivas como bienestar, motivación, confianza, alerta, concentración. El efecto de la cafeína sobre la capacidad memorística es significativo cuando las capacidades están disminuidas debido a alguna enfermedad. De ello resulta que la cafeína es un normalizador cognitivo que proporciona efectos beneficiosos en la restauración de las capacidades cognitivas pérdidas o disminuidas. El café posee, además de la cafeína, una cetona que actúa en forma benéfica sobre el cerebro, su consumo diario torna el cerebro más atento y capaz para sus actividades Intelectuales, también disminuye la incidencia de apatía y depresión, estimula la memoria, la atención y la concentración; y puede ayudar a prevenir el consumo de drogas y alcohol y disminuir la incidencia de cirrosis en alcohólicos. (Franco, 2009)

2.3 De la Planta a la Taza

2.3.1 El fruto: El fruto tiene una forma ovoide, la cual tiene una longitud entre 10 a 15 mm y un diámetro de 11 a 14 mm respectivamente y se denomina cereza. La estructura del fruto está conformada por una estructura carnosa la cual une el fruto con el tallo y tiene su misma estructura. La parte del fruto conocida como pulpa la cual está conformada a su vez por el pericarpio, el exocarpio o epidermis y el mesocarpio (Ver Figura 1). A medida que el fruto alcanza su madurez ocurren una serie de transformaciones aumentando su contenido de azúcares, agua y sufre una variación de su tamaño y forma, tornándose así de un color violeta oscuro punto ideal para realizar la recolección.


	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	




Figura 1: Estructura del fruto de café

Fuentes: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

En las primeras etapas de desarrollo el fruto es verde debido a su alto contenido de clorofila, a medida que el fruto alcanza su madurez el contenido de clorofila total disminuye gradualmente hasta desaparecer totalmente del fruto, cuando el fruto se encuentra bien desarrollado forma el pergamino de la semilla el cual es blando y de 0,1 mm de espesor este está formado por fibras de paredes gruesas unidas entre sí lo que confiere al fruto una gran resistencia.

- **Su composición:** La composición química del fruto está basada en los azúcares sintetizados durante la fotosíntesis del fruto, encontrándose la glucosa presente en mayor medida seguida por la fructosa y la sacarosa, en el fruto también encontramos ácidos grasos libres como el ácido palmítico, ácido oleico y el esteárico los cuales aportan energía al organismo y son imprescindibles para otras funciones como absorción de vitaminas. (López *et al.*, 2003)
- **Enfermedades:** El fruto del café se ve afectado por numerosos factores bióticos y abióticos los cuales influyen en el crecimiento normal de este produciendo pérdidas en la producción del cultivo. Entre los diversos factores y enfermedades que más afectan el fruto están.
 - Broca del fruto,
 - Mancha de hierro,
 - Mal rosado,
 - Enfermedad de la cereza,
 - Ojo de gallo o gotera,
 - Deficiencia hídrica del suelo,
 - Grandes oscilaciones de temperatura,
 - Baja humedad relativa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.2 La Cosecha: La cosecha es el período durante el cual se recolecta las cerezas maduras de la planta las cuales presentan un color rojizo y en algunas especies un amarillo intenso en nuestro país desde el momento de la floración hasta la maduración el desarrollo del fruto ocurre en promedio de 180 a 330 días dependiendo en gran medida de la variedad cultivada y de las condiciones ambientales, en donde se encuentre el cultivo, por ejemplo en la región norte y sur de Colombia el periodo seco y pronunciado da origen a una sola cosecha al año mientras que en la región central del país se producen dos cosechas anuales.

En Colombia la cosecha se realiza de manera manual utilizando un canasto o recipiente plástico sujeto a la cintura del operario en donde se hace la recolección. El costo pagado por la recolección depende de varios factores entre los que se encuentran, la oferta de fruto maduro, la edad del cafetal, la cercanía de la finca a la cabecera municipal y la disponibilidad de la mano de obra, siendo la recolección el proceso que requiere más inversión financiera durante la producción. (Ver Figura 2)

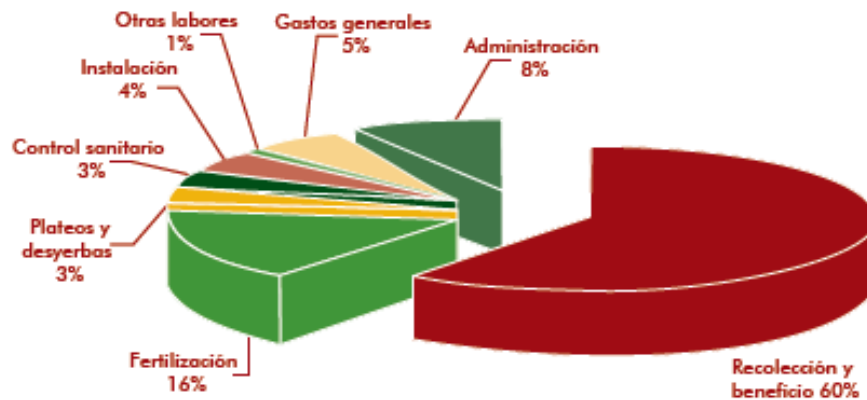



Figura 2: Costos de Producción del Café en Colombia
 Fuentes: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

Para reducir los altos costos que implican la recolección en el proceso de producción, optimizar la mano de obra empleada y mejorar las condiciones de trabajo y adicional a esto obtener productos a menor costo, mejor calidad y menos pérdidas, la FNC- Federación Nacional de Cafeteros, realizó un estudio de tiempos y movimientos en donde se desarrollaron estrategias y métodos de recolección del café logrando disminuir el tiempo empleado en la recolección entre 15 y 36% como adición a estos métodos también se están desarrollando herramientas para asistir en la recolección del café en los días de mayor cosecha, con incrementos sustanciales en el rendimiento del recolector. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

2.3.3 Procesamiento: El procesamiento consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos en café pergamino de alta calidad física y en su presentación final, las cuales gracias a su estabilidad, en un rango amplio de condiciones ambientales y térmicas, es el estado ideal para realizar la comercialización del producto, este proceso se realiza normalmente en las propias fincas donde se realiza la cosecha del grano, el recibo, despulpado, remoción del mucilago, lavado, clasificación y secado.


	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Transporte:** Cuando el grano del café es cosechado se debe iniciar el transporte al área de la finca en donde se realizara el procesamiento, en Colombia el método de transporte de café más utilizado es a hombro del recolector, pero en fincas en donde el lugar de procesamiento se encuentra a una distancia muy considerable se emplean otros métodos como son el transporte animal por ejemplo (a lomo de mula), la cual está muy relacionada con la tradición cafetera y es el emblema de la institucionalidad cafetera de nuestro país pero con el paso de los años este método de transporte ha sido remplazado por otros, como son el transporte por malacates, el cual puede utilizarse para transportar el café recolectado y otros materiales como insumos siendo una alternativa económica y ambiental. El transporte por cable aéreo de gravedad o motorizados, son otras alternativas empleadas en el transporte del grano interviniendo poco el paisaje y reduciendo el esfuerzo humano y siendo una alternativa de bajo costo comparadas con la construcción de carreteras y caminos.
- Recibo:** La recepción de los frutos de café que llegan desde el cultivo se realiza en tolvas, estas se clasifican en tolvas húmedas secas y tolvas secas. Las primeras son sistemas de almacenaje temporal, las cuales utilizan agua para transportar los frutos de café hasta las maquinas, las segundas son ideales para reducción del consumo de agua y contaminación de esta ya que solo utiliza la gravedad para hacer llegar el fruto hasta las máquinas pero requiere de grandes alturas y desniveles importantes entre estas y las máquinas. (Ver Figura 3)



Figura 3: *Tolva Húmeda y Tolva Seca para recibo de café*
 Fuente: (Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

- Clasificación:** La correcta homogeneidad del café se lograría a través del proceso de la recolección sin embargo esto implicaría una mayor inversión en un proceso que ya es el 60% del costo total de la cosecha (Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013). El proceso de clasificación tiene como fin lograr una mejor calidad de la materia prima y así una mejor grano de café esto se logra separando, los frutos que se encuentran en diferentes estados de maduración, frutos defectuosos, frutos atacados por algún insecto o alguna impureza pesada o liviana. Uno de los procesos de clasificación más empleados es por densidad de agua, gracias a esto se remueven la mayoría de los frutos secos e impurezas livianas. El proceso de clasificación por densidad de agua consta de una tolva la cual se llena de agua limpia y luego es alimentada con los granos en donde aquellos granos que tienen algún defecto como

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

son frutos secos, frutos brocados, y las suciedades como hojas y palos quedan en la superficie debido a tener una menor densidad.

- Despulpado:** Luego de la recolección del fruto, el transporte y el recibo, el grano es dirigido a las máquinas despulpadoras la cual se encarga de separar la cáscara de cada cereza dejando solo el grano, este proceso se realiza por medio de un rodillo estriado el cual presiona el grano contra una placa de acero produciendo fuerzas cortantes y de compresión a los frutos. Esta fase del proceso es delicada debido a que si durante el proceso se presenta daño a al grano este daño permanecerá a través de las siguientes fases del proceso provocando alteraciones de la calidad del grano.
- Remoción del mucilago:** El mucilago es una película gelatinosa la cual queda expuesta cuando el fruto es despulpado esta se encuentra fuertemente adherida al pergamino, el mucilago del café debe ser retirado ya que esta es una barrera natural al flujo de humedad hacia el exterior del grano durante el proceso de secado y si no se retira se obtendrían tiempos de secado muy prolongados y deterioros en la calidad del grano pues con su retiro se disminuye considerablemente la carga microbiana presente en este. La remoción del mucilago se realiza por medio de una máquina desmucilagadora la cual usa como principio de funcionamiento la fuerza centrífuga y la fricción con sus paredes que se encuentran estáticas mientras unas aspas en forma de tornillo sin fin lo mueven de abajo hacia arriba. Otra manera de realizar la remoción del mucilago de manera natural, más sencilla y tradicional es mediante la fermentación donde el efecto de bacterias diluye el mucilago. Este proceso que sucede espontáneamente se debe controlar rigurosamente a través del tiempo debido que largos tiempos en el proceso de fermentación llevan a que el grano tome sabores a vinagre, piña madura y olores rancios y nauseabundos. (Lee *et al.*, 2015)
- Lavado:** Luego de realizado el retiro de mucilago por fermentación natural se procede a realizar el lavado y cuyo objetivo es remover definitivamente el mucilago de los granos de café, con el fin de evitar la presencia de manchas en el café pergamino o la aparición de sabores extraños en producto final. Debido a que el agua es un insumo necesario en este proceso se debe tener en cuenta, la calidad y cantidad por lo que se recomienda utilizar agua limpia no recirculada, y la cantidad de agua necesaria está ligada a la forma en que se realice este proceso, el cual depende de la infraestructura disponible. El proceso de lavado se puede realizar de varias formas entre las más populares están, la agitación manual en tanque, en la cual el café es lavado en tanques con bordes redondeados y una paleta la cual se utiliza para agitar el café, se realizan cuatro enjuagues y se retira los granos que flotan. (Ver Figura 4a) Otra forma de lavado es por medio de canales de correteo en el cual el café se deposita en un tramo del canal y se cubre con agua luego este se agita con una paleta produciéndose fuentes corrientes que hacen que los granos de menor densidad y la pulpa floten para ser retirados.(Ver Figura 4b). Y por último tenemos el lavado de café con motobomba sumergible en el cual el café es pasado de un tanque a otro gracias a la ayuda de una motobomba lográndose lavar grandes cantidades de café y removiendo material flotante, y el mucilago no removido durante el proceso de fermentación.(Ver Figura 4c)



	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	



Figura 4: Métodos de lavado de café a) tanque b) canal de correteo c) bomba sumergible
Fuentes: (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

- Secado:** El secado del café consiste en lograr extraer parcialmente o totalmente el agua presente dentro de los granos, por medio de la evaporación del agua en el aire. Al inicio la humedad de la superficie del grano se transfiere fácilmente al aire y a medida que transcurre el proceso de secado se inicia una migración de agua, de la parte interna del grano a la más externa, para sustituir la humedad perdida en la superficie. (Bermudez & Sanchez, 2005). Al inicio del secado del grano el coeficiente de transferencia de masa por convección determina la rapidez del secado y en la etapa final la resistencia al paso del agua en el interior del grano es la limitante del tiempo de secado. Por tal motivo los procesos de deshumidificación dentro de cada grano son diferentes siendo más altos en el interior y menor en la superficie. A medida que se reduce la humedad del grano la difusión de la humedad tiende a ser más lenta y la manera de aumentarla es incrementando la temperatura, generando un aumento en la presión de vapor de agua.

2.3.4 Control Calidad: El café colombiano es reconocido a nivel mundial por su buena calidad, por su excelente aroma, sabor y suavidad debido a esto se vende a un mayor precio, pero esta excelente calidad no sería posible sin las buenas prácticas desarrolladas en los diferentes procesos por los caficultores, recolectores, procesadores, comercializadores, tostadores y consumidores. Un grano de café pergamino de buena calidad tiene una apariencia homogénea, olor fresco a café, un color amarillo claro y una humedad entre 10 y 12%. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013) Durante el cultivo y los procesos de beneficio, almacenamiento y transporte de café se

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

pueden generar defectos en el grano los cuales son detectables por su apariencia física entre los defectos más importantes tenemos.

- Grano negro o parcialmente negro:** Se caracteriza por ser un grano de color negro oscuro el cual sufrió encogimiento y presenta arrugamiento con grietas demasiado abiertas este defecto del grano se presenta ya sea por la falta de agua durante el desarrollo de la cereza, durante un sometimiento excesivo a los tiempo de fermentación para retirar el mucilago o una cereza demasiado madura recogida del suelo. (Ver Figura 5)




Figura 5: Defecto del Grano negro o parcialmente negro
Fuentes: (Speciality Coffee Association of America , 2010)

- Daño por hongos:** Se reconoce por estar recubierto por un polvillo de color amarillo, el cual se le produce cuando el grano es sometido a fermentaciones prolongadas, también se produce cuando se interrumpe por largos periodos el proceso de secado o el grano es almacenado en lugares con alta humedad. (Ver Figura 6)



Figura 6: Defecto por ataque de hongos
Fuentes: (Coffee of Colombia, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Vinagre o parcialmente vinagre:** Se caracteriza por ser un grano de color crema o caramelo oscuro, posee hendiduras libres de tegumentos y en algunas ocasiones toma coloraciones rojizas, este tipo de defectos se produce por retrasos entre el proceso de recolección y el despulpado, también por ser sometidas a tiempos de fermentación demasiado prolongadas o durante el proceso de lavado se utilicen aguas sucias y se almacene en lugares con humedades altas. (Ver Figura 7)




Figura 7: Defecto del café vinagre o parcialmente vinagre
Fuentes: (Coffey, 2013)

- Cristalizado:** Se reconoce porque el grano presenta una descoloración parcial o total con aspecto vidrioso, esto ocurre debido al sobrecalentamiento durante el proceso de secado normalmente temperaturas por encima de los 50°C o por ser sometido a un secado irregular (Ver Figura 8)



Figura 8: Defecto del grano o Cristalización
Fuentes: (Standards Bureau of Agriculture and Fisheries Product, 2012)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Mordido o cortado:** Se caracteriza por ser granos con heridas cortados u oxidados, se presentan comúnmente durante el proceso de despulpado, debido a las maquinas mal calibradas o defectuosas, en esta también es común encontrar este tipo de defecto en los granos que son recolectados verdes en el árbol. (Ver Figura 9)



Figura 9: Defecto por granos Mordidos o Cortados
Fuentes: (Standards Bureau of Agriculture and Fisheries Product, 2012)

- **Picado de animales:** Este tipo de defecto se caracteriza por pequeños orificios causados por la acción de insectos como son el gorgojo, la broca del cafeto, roedores y otros animales (ver Figura 10).



Figura 10: Defecto por Picadura de animales
Fuentes: (Coffey, 2013)

- **Arrugado:** Este tipo de defecto del grano de café se reconoce por presentarse granos con estrías y es característico debido a presentarse deficiencias en nutrientes por falta de fertilización y problemas en los suelos o debido a periodos de sequía prolongados durante su desarrollo. (Ver Figura 11)



Figura 11: *Defecto Arrugado*

Fuentes: (Standards Bureau of Agriculture and Fisheries Producto, 2012)

- **Inmaduro:** Se caracteriza por presentar un grano de color gris oscuro con presencia de cutícula, una superficie manchada y un tamaño menor al característico, se presenta en plantas que carecieron de abono durante su desarrollo, en cultivos de zonas marginales, la recolección de granos verdes o inmaduros y por sequías prolongadas. (Ver Figura 12)




Figura 12: *Defecto del grano inmaduro*

Fuentes: (Standards Bureau of Agriculture and Fisheries Producto, 2012)

2.4 Secado de café en Colombia:

El secado en Colombia se realiza tradicionalmente mediante dos métodos secado solar y secado mecánico, el secado solar es el más utilizado por los productores en Colombia y es considerado como una práctica tradicional. Además de ser económicamente y

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ambientalmente amigable, garantizando un alto porcentaje de los estándares de calidad exigidos por la federación nacional de cafeteros. Un gran porcentaje de los caficultores del país tienen plantaciones de café menores a 5 hectáreas y tamaño promedio de los cultivos de café en el país apenas súper 1.5 hectáreas. Por tanto este método es el más usado por los pequeños productores en Colombia, la federación nacional de cafeteros y el centro nacional de investigación del café (Cenicafé), en su interés por garantizar la calidad del grano ponen a disposición de los caficultores métodos para la medición del contenido de humedad. (Federación Nacional de Cafeteros, 2013)

Los caficultores anteriormente utilizaban, un método de medición del contenido de humedad basados en el color y la firmeza de la almendra del café. Lo que puede llevar a comercializar café por fuera de los rangos establecidos por la FNC. Es por esto que el método desarrollado por la FNC establece una metodología detallada que le indica al caficultor el momento ideal para que este comercialice el grano accediendo a los mayores beneficios económicos posibles manteniendo la calidad del café de Colombia.


La otra forma de realizar el secado en Colombia es mediante secadores mecánicos esto debido a que en gran parte de las regiones cafeteras las condiciones climáticas en la época de cosecha no son favorables para el secado solar del café debido a las bajas temperaturas, humedad relativa y bajo brillo solar que se presentan, lo que aumenta el tiempo en el proceso de secado con el riesgo que la calidad del producto se vea afectada, debido a esto se están utilizando secadores mecánicos los cuales constan de una, dos o tres cámaras con pisos perforados, donde se deposita el café, un calentador del aire de tipo indirecto, un ventilador que entrega el caudal de aire para secar el café y un dispositivo para el suministro de combustible ya sea carbón, cisco, madera, ACPM. Adicionalmente cuenta con dispositivos como termostatos y termómetros para mantener la temperatura durante el secado en rangos adecuados entre 48 y 52 ° C (Lopez S. M., 2009). Este sistema de secado satisface producciones superiores a las 2000 arrobas de café pergamino por año. De estos métodos de secado mecánico el más utilizado en Colombia es el de capa fija o estática y se efectúa forzando un caudal de aire previamente calentado a través de una capa de grano.

2.5 Equipos de secado de café

Las condiciones climáticas del lugar, principalmente la temperatura, humedad relativa y brillo solar al igual que la cantidad de café producido anualmente, los picos de cosecha y la disponibilidad de mano de obra son factores que se deben tener en cuenta en la selección del método de secado de café.

2.5.1 Secador solar de túnel

El secador solar de túnel ha sido adoptado y utilizado exitosamente por una gran variedad de caficultores en Colombia para atender el flujo de café producido en fincas de menos de 200 arrobas de café pergamino seco por año. Y en fincas grandes en épocas de baja producción. Con el fin de aprovechar la energía solar y disminuir costos de construcción, operación y mantenimiento. Este secador solar tipo túnel, consta de una estructura en

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

madera, una cubierta plástica transparente y un piso de malla plástica y compuertas enrollables de plástico y transparentes. (Ver figura 13)


Este secador es utilizado altamente en Brasil con la variante que en algunos lugares no utilizan la cubierta plástica y los denominados ``terreiro suspenso`` (Ver figura 14) en donde se obtienen mejor calidad, y ahorro de tiempo y dinero y asegurar un secado más rápido y más eficiente de café comparándolo con el secado en piso de concreto, lo que resulta en una mejor calidad de la bebida. Muchas son las ventajas que ofrece el uso de la terraza suspendida para el secado del café, por ser más aireado, el sistema evita la acumulación de calor y la formación de moho en el comienzo de secado que compromete la calidad de los granos y consecuentemente la bebida. (Bispo & Sozzo, 2014) El resultado es un producto de mejor calidad que incluso ha logrado precios diferenciados en algunas regiones que con otros métodos como el piso de concreto (Belgo Mineira Bekaer, 1997).



Figura 13: *Secadora solar de túnel*
Fuentes: (Ospina, 2006)



Figura 14: *Secador terraza suspendida ``terreiro suspenso``*
Fuente: (Bispo & Sozzo, 2014)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.2 Secador solar parabólico

Los secadores parabólicos han sido construidos y utilizados exitosamente en fincas de pequeños caficultores, los materiales empleados en la construcción tienen diferentes periodos de vida útil por lo que es necesario reparar los componentes del secador en diferentes tiempos. Si la fabricación del piso es de concreto esta puede durar más de 15 años pero si se utiliza malla plástica su duración es mayor a 5 años. Para obtener los mejores resultados con el secador se recomienda llevar el café bien lavado y escurrido durante al menos una hora, esparcir el café en el piso del secador aprovechando el área disponible al máximo, abrir la compuerta cercana al café recién llevado al secador, diariamente se debe revolver el café al menos cuatro veces en direcciones diferentes, al final de la tarde para reducir el enfriamiento del café y el posible re humedecimiento se recomienda recoger el café y al día siguiente extenderlo nuevamente. Esta forma de secado es económica y ambientalmente amigable obteniendo productos de alta calidad. (Lopez Marin, 2008) El secado parabólico es una excelente alternativa para los pequeños caficultores pues es fácil de construir y de operar. (Ver figura 15)

En la región de Centro América se utiliza una variante de este sistema de secado conocido como secar tipo domo en donde la estructura es en PVC y el piso es en tierra y en el interior se encuentran alojados los granos de café en zarandas con malla de acero inoxidable en donde se realiza el secado y se obtienen beneficios como: La disminución de riesgo de contacto con contaminantes como son basura, polvo o animales, incrementa la calidad del producto al obtener un grano más limpio y sin manchas, disminuye el trabajo físico requerido, se disminuye los tiempos de secado comparándolo con otros métodos, el costo de fabricación es más económicos en comparación con patios de cemento, se evita el desarrollo de hongos al dar la humedad adecuada al grano para su almacenamiento, se facilita el trabajo de escoger y separar el grano, se evita que el fruto absorba de nuevo humedad durante la noche al cerrar las ventanas de ventilación. (Ver figura 16)



Figura 15: Secador Solar Parabólico
Fuentes: (Lopez Marin, 2008)



Figura 16: *Secador Tipo Domo*

Fuentes: (Cruz, León, Pascual, & Battaglia, 2010)


2.5.3 Secador por lecho fluid izado

La fluidización es una operación en la cual se utiliza una corriente ascendente de un fluido para suspender las partículas sólidas que conforman un lecho. Esto hace que el comportamiento de los sólidos se aproxime al de un fluido. La velocidad del fluido es el factor que determina el estado del lecho cuando es insuficiente y no es capaz de mover las partículas, el lecho es conocido como estacionario pero si la velocidad aumenta y logra separar las partículas y mantener un lecho expandido se denomina lecho fluidizado. (Susatama, 2014).

El secado por lecho fluidizado se presenta como una alternativa para obtener cafés con contenidos de humedad final uniformes y reducir el tiempo de secado. Un factor determinante en el secado de café y el tiempo total de secado por lecho fluidizado es la temperatura y la humedad relativa del aire, para esto se utilizan temperaturas de 49°C y una humedad relativa de 19% lográndose tiempos de secado con humedades finales entre 10 y 12 % en cerca de 7 horas lográndose alta producción, con la utilización de una pequeña superficie de suelo. Mediante este tipo de secado durante el proceso también se puede eliminar material no deseado como pedazos de pulpa, granos defectuosos, cascarilla de granos trillados en el proceso de beneficio, granos con daño de broca. El secado de café en lecho fluidizado no altera las características organolépticas del café bien y se obtiene un producto de muy buenas características sensoriales.

Para el secado de café por lecho fluidizado se utilizan equipos constituidos por los siguientes componentes generales y que son ilustrados en la figura 17.

- **Columna de fluidización:** Consiste en un tubo sobre el cual viajará el fluido que suspenderá las partículas.
- **Sección uniformadora:** Es cono difusor que existe con el objeto de obtener un perfil de velocidad deseado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Distribuidor:** Se basa en una placa con algunas perforaciones. Es uno de los componentes más importantes, ya que su diseño impacta directamente en la calidad de la fluidización.
- **Sistema de suministro de fluido:** Esta compone de un sistema de válvulas reguladoras de flujo, instrumentos medidores de flujo, calentadores y otros dispositivos con el objeto de proporcionar el fluido en las condiciones termodinámicas requeridas.
- **Sistema de medición de presión:** es importante medir la caída de presión en un lecho fluidizado.
- **Sistema de medición de temperatura.**

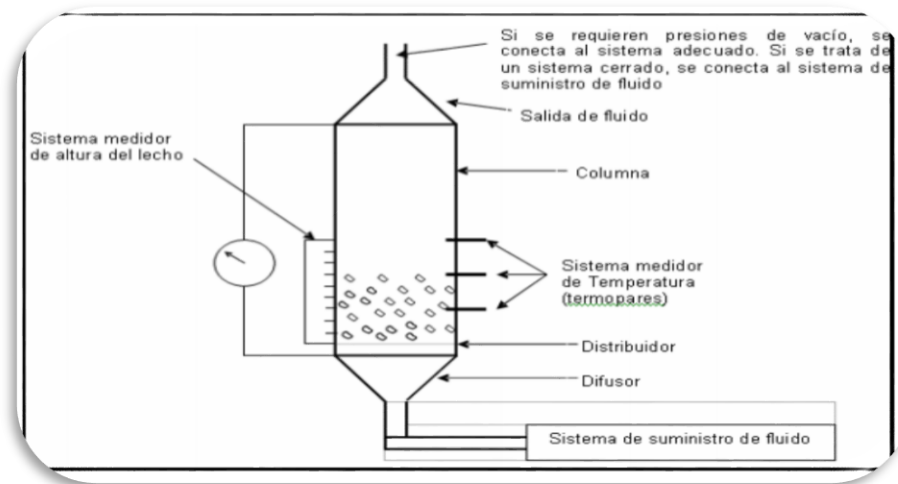


Figura 17: Secador por lecho fluidizado
Fuentes: (Patiño , 2004)

Una variación del secado mecánico de capa móvil o lecho fluidizado es el observado en la figura 18 en donde se somete a elevados caudales de aire caliente con el fin de agitar y poner en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme para luego ser transportados por medio de una banda hacia el punto de salida, en este tipo de secadora tenemos una zona de caliente o zona A, una zona de secado o zona B, una zona de carga o zona C, una zona de dosificación o zona D, una válvula rotativa E, una banda de distribución F, y un regulador de salida I.

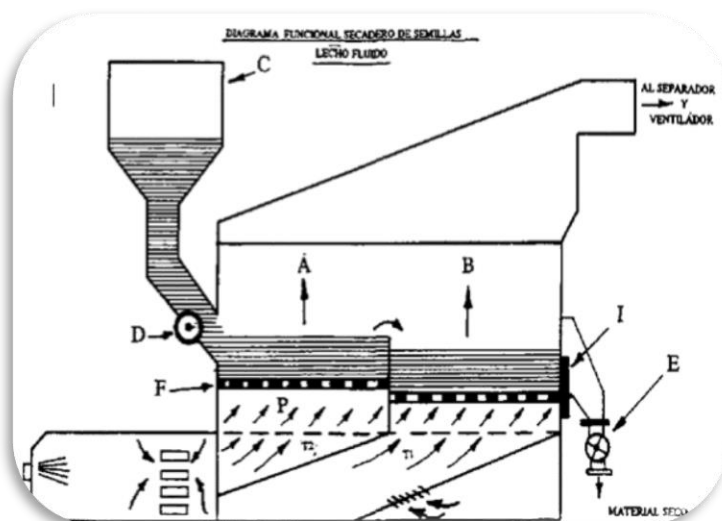


Figura 18: Secador horizontal de lecho fluid izado
Fuentes: (Chicaiza, 2007)

2.5.4 Secador mecánico de capa fija

El secador de capa fija debe construirse en un lugar cubierto, para que funcione incluso en condiciones meteorológicas adversas y en cualquier hora del día. Estos se deben construir pensando en la seguridad del operador y pensando en la calidad del producto, se debe tener cuidado de prevenir incendios, tanto en el secador mismo como en las construcciones vecinas. Las partes móviles del motor y del ventilador deben estar protegidas del contacto con personas o animales. La temperatura del aire de secado se debe controlar mediante un termómetro colocado en la entrada de la cámara de distribución del aire. Los secadores de capa fija están compuestos de cuatro elementos principales que son: sistema de calentamiento del aire, ventilador, cámara de distribución del aire y cámara de secado. (Dalpasquale, Sinicio, & Pereira, 1991) El sistema de calentamiento puede ser de cualquier tipo, siempre que esté dimensionado para aumentar la temperatura del aire hasta los límites recomendados para cada producto y que no haya contaminaciones de él por el aire que proviene de la fuente de calor.

El ventilador generalmente es del tipo centrífugo, la cámara de distribución de aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática distribuyendo uniformemente el aire dentro del secador. La cámara de secado es un recipiente con fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado mientras es calentado por el aire impulsado mecánicamente por el ventilador y pasa a través de la capa del producto, reduciendo su contenido de humedad. Los secadores de capa fija, en la mayoría de los casos se proyectan para secar solamente una partida por día. Después del secado, el producto se enfría dentro del mismo secador, para lo cual se interrumpe el suministro de energía al sistema de calentamiento y se deja conectado el ventilador. (Ver figura 19).

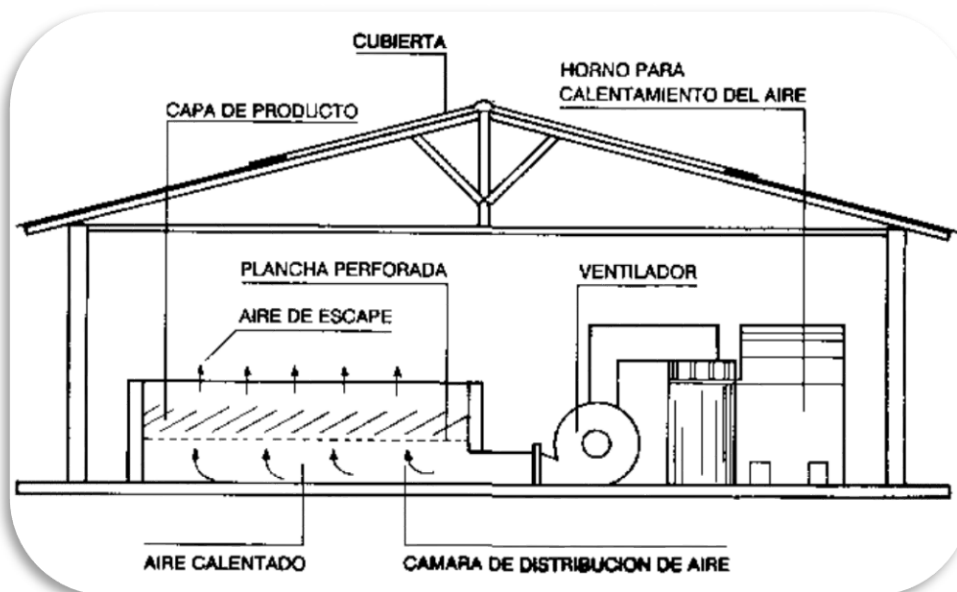


Figura 19: *Secador Mecánico de Capa Fija*
Fuentes: (Dalpasquale *et al.*, 1991)

2.5.5 Secador Mecánico de Capa Móvil

En el secado de café de capa móvil, el café entra por un extremo del secador y es movido a través de este para salir en el otro extremo. durante el proceso el café entra en contacto con el aire caliente que es generado por alguno métodos, ya sea por quema de combustible fósil, carbón, cisco o biomasa, después de que el café pasa por todo el secador sale por el otro extremo para ser recolectado. La gran diferencia con el secado de capa fija es que este tipo de secador usa temperaturas de secado mucho más elevadas entre 60 a 100°C en donde los tiempos de secado son mucho menores, pese a que las temperaturas son considerablemente más elevadas no se observa ningún deterioro del grano de café. (Ver figura 20)

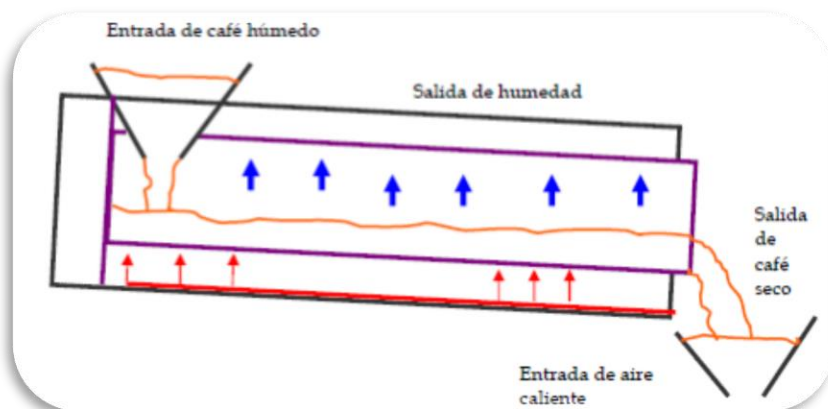



Figura 20: *Secado Mecánico de Capa Móvil*
Fuente: (Bermudez & Sanchez, 2005)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.5.6 Secador de café vertical de dos pisos

El secador de café vertical de dos pisos, utiliza una cámara de secado y una cámara de pre secado en la parte superior. En este tipo de secador el aire que circula de la cámara inferior o de secado, circula a la cámara superior realizando la función de pre secado en forma ascendente; una vez el grano ubicado en la cámara inferior ha alcanzado el porcentaje de humedad deseado se extrae, y el café situado en la cámara superior es enviado a la cámara de secado por medio de la apertura de una compuerta situada en el piso del segundo nivel para que este culmine su proceso. El secador de café vertical de dos pisos utiliza un inversor de flujo en la cámara de secado para poder lograr que el café circule por las 2 cámaras para poder ubicar el café que se encuentra más seco y caliente queden en la parte superior y las más frías y húmedas en la parte inferior. (Ver figura 21)

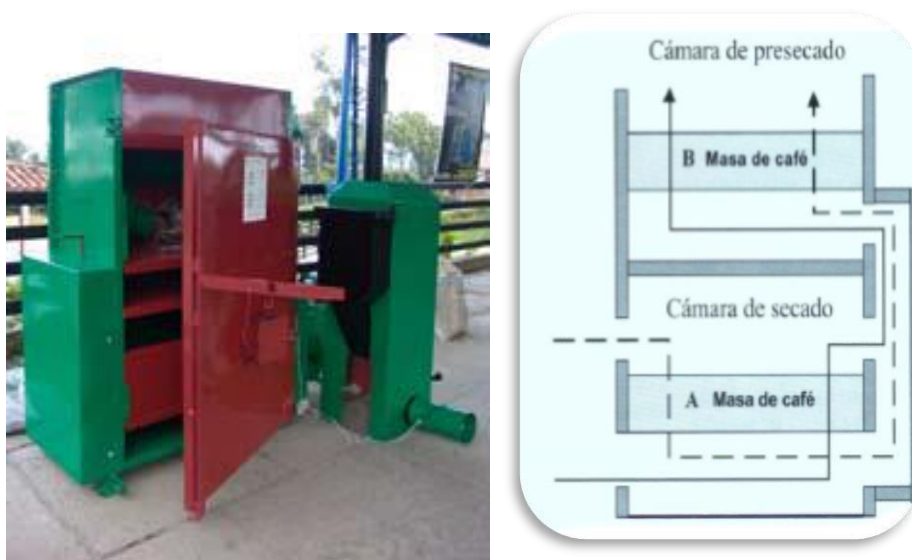


Figura 21: *Secador de Café Vertical de dos Pisos*
 Fuentes: (López, 2009)

En Colombia se fabrican actualmente secadores de este tipo pero con la variante de tener tres cámaras de secado las cuales están dispuestas verticalmente y en las que se colocan capas de café con altura de 12 a 40 cm según la capacidad del equipo, el café lavado se carga en la cámara superior la cual se denomina cámara de pre secado 2, luego de 6 horas de secado con temperaturas de aire a 50°C se pasa a la cámara intermedia o cámara de pre secado 1 y luego de 6 horas se pasa a la cámara más inferior en donde al cabo de 18 horas de haber empezado el proceso por cada una de las cámaras el secado del café ya se encuentra listo con humedades que rondan el 10 al 12%, en este secador si se suministra café constantemente se logra sacar café seco y de buenas especificaciones cada 6 horas. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013) (Ver figura 22)

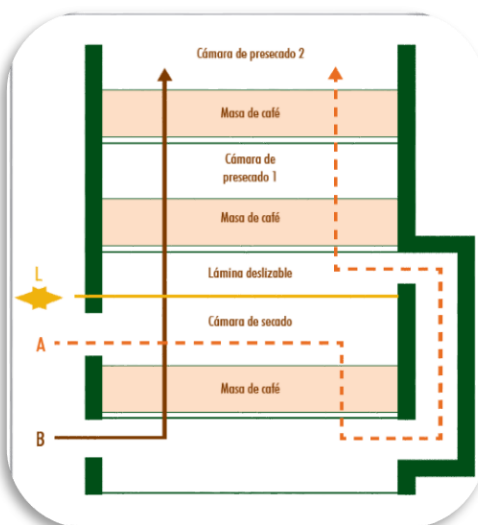


Figura 22: Secador de Café Vertical de Tres Pisos
Fuentes: (Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

2.5.7 Secador rotativo

El secado rotativo está compuesto por un tambor cilíndrico montado sobre un eje hueco por el cual circula aire caliente, este aire pasa luego al interior del tambor por medio de tubos radiales perforados y colocados opuestos de a dos en dos. En los modelos pequeños, el aire entra por uno de los extremos, mientras que en modelo grande entra por ambos lados. El tambor está dividido por paredes en cuatro compartimientos iguales, con ventanas para carga y descarga. En el interior del tambor se han soldado láminas con figuras y dobleces adecuados para mezclar continuamente el café que se está secando. La superficie externa del tambor está completamente perforada para dar salida al aire usado. En los secadores rotativos el tambor gira a razón de dos vueltas por minuto sobre los rodamientos situados en los extremos del eje central. Un ventilador que en promedio gira a una velocidades de 1100 a 2500 rpm (Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013) revoluciones por minuto aspira aire del ambiente y lo inyecta a un calentador el cual puede usar leña, diésel o cisco. (Ver figura 23)



Figura 23: *Secador Rotativo de Café*
Fuentes: (Asociacion Nacional del Cafe, 2009)

En Brasil utilizan otros modelos de secadores rotativos con diferentes opciones como Hornalla de fuego indirecto o directo, elevador para carga y descarga, tolva de espera para alimentación de la secadora. En cada una de sus variaciones tienen como fin secar eficaz y rápidamente café, además es comercializado para secar granos como cacao, soja, frijoles, maíz, pimienta y otros. La Secadora Rotativa para Café y Otros Granos, es la secadora ideal para el cafetalero de pequeño, mediano y gran porte. Recibe el café directamente del campo o del labrador, propiciando un secado rápido y uniforme. Las puertas para carga y descarga del producto proporcionan rapidez en estas operaciones. Su mejor aprovechamiento de calor, resulta en mejor desempeño de secado, economía de combustible y lo más importante, secado uniforme. Secan con eficiencia, rapidez y uniformidad cafés pergamino, Arábica y Robusta. (Palini & Alves Ltda, 2010) (Ver figura 24)



Figura 24: *Secador rotativo para café y otros granos*
Fuentes: (Palini & Alves Ltda, 2010)

2.5.8 Secadores de última generación

El secado es la etapa más costosa en el proceso de beneficio del café por lo que se han adelantado muchas investigaciones concernientes al tema con el fin de disminuir el costo de este proceso se han evaluado el empleo de diferentes combustibles como cisco de café y alcoholes carburantes obtenidos a partir de los subproductos del café como la pulpa y el mucilago además se han logrado avances en la utilización eficientemente de la energía térmica, eléctrica y solar durante el secado. Como ejemplos de esos secadores de última generación tenemos:

- **Secador intermitente de flujo concurrente**

Este tipo de secador presenta mayores eficiencias térmicas que los secadores de capa fija y capa móvil (Ospina *et al.*, 1991). el secador intermitente de flujo concúrrete (IFC) consta de los siguientes elementos básicos (Ver Figura 25) Una fuente de energía o quemador de ACPM, un intercambiador de calor vertical de tipo indirecto, un ventilador centrífugo de aletas curvadas, un transportador, una estructura de secador dividida en dos secciones de reposo la inferior y la superior y una sección intermedia de secado en la cual el aire caliente entra en contacto con el grano tomando una dirección vertical descendente, para luego salir por unos ductos ubicados en la base de esta sección.

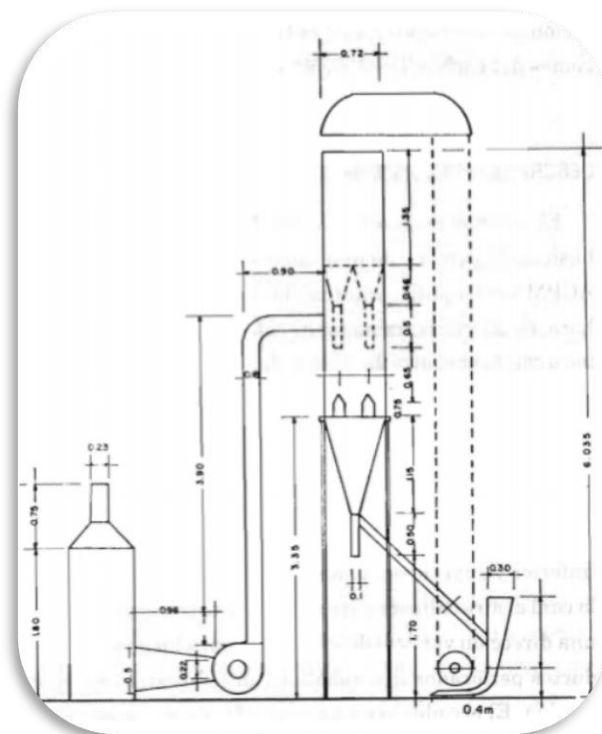



Figura 25: *Secador intermitente de Flujo Concurrente*
Fuentes: (Ospina *et al.*, 1991)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- **Sistemas de secadores solares con ranura**

Una empresa en Malaysia SERI UKM ha desarrollado unos sistemas de secadores solares aprovechando el clima de la región y uno de ellos es sistema de secador solar (SDS) con ranura (ver figura 26) los componentes principales de este secador son los colectores solares, un ventilador, una cámara de secado y un calentador eléctrico auxiliar. El colector solar ranura do tiene 1 m de ancho, 2.3 m de longitud y 0.14 m de altura y se compone de seis de estos colectores que cubren la superficie total del techo. La velocidad del aire se puede regular con dos ventiladores en una potencia eléctrica de 85W y en 2700 rpm para enviar 6.15 -17.13 m³ / min de aire caliente a la cámara de secado. (Fudholi *et al.*, 2015).



Figura 26: Secador Solar con Ranura
Fuentes: (Fudholi *et al.*, 2015).

- **Sistema de secador solar de efecto invernadero con quemador diésel**

Este sistema de efecto invernadero quemador diésel es utilizado para secar grano y productos marinos en diferentes regiones de Malasia el secador está conformado por una cámara de secado oscura en forma cuadrada que luego se cubre con láminas transparentes dando una forma de medio círculo, El sistema también está equipado con un sistema de calefacción que funciona con energía diésel para asegurar que el proceso de secado puede llevarse a cabo continuamente durante todo el día y la noche. Los ventiladores se utilizan para mover el aire de la parte trasera del sistema, el aire entra por la parte inferior de la cámara de secado y pasa en la cámara a través de hendiduras, El material a secar se coloca en las redes que cuelgan de la parte superior. La gran ventaja de este sistema alternativo con respecto a los otros ya vistos es que con este se puede controlar la temperatura del aire en la cámara de secado mediante la velocidad del flujo del aire (Fudholi *et al.*, 2015). (Ver figura 27)



Figura 27: Sistema de secador solar de efecto invernadero con quemador diésel
Fuentes: (Fudholi *et al.*, 2015).

- **Secador flexible**

El secador flexible o Flex es una combinación de dos tipos de secadores y varias fuentes de energía. Es un secador tradicional de lecho fijo con un colector solar, el aire de secado se puede calentar con energía de la combustión de leña, carbón o gas o con la energía solar o con una mezcla de la energía solar y la energía de combustión. Por el hecho de utilizar diferentes fuentes de energía se conoce como 'secador de Flex'.

El secador Flex incorpora un horno, un intercambiador de calor y un colector solar, Para completar el sistema de secado, se añadió un ventilador para llegar a las capas más profundas del café donde se requiere una presión adicional para forzar el paso del aire caliente. Teniendo en cuenta la ausencia de electricidad la cual es frecuente en las zonas rurales este tipo de secador se puede utilizar como secador por convección natural. En este caso, la altura de la capa de café debe ser reducida y se necesita realizar la agitación con más frecuencia. El uso del ventilador fuerza la convección y extrae el aire de los canales que fueron pre calentado por energía solar. El uso de la energía solar como fuente complementaria, además de reducir sustancialmente el consumo de otros combustibles, es una energía limpia y lo único en contra es el costo del techo el cual es un poco más costoso que un techo estándar. (Sousa & Roberto, 2010) (Ver figura 28)

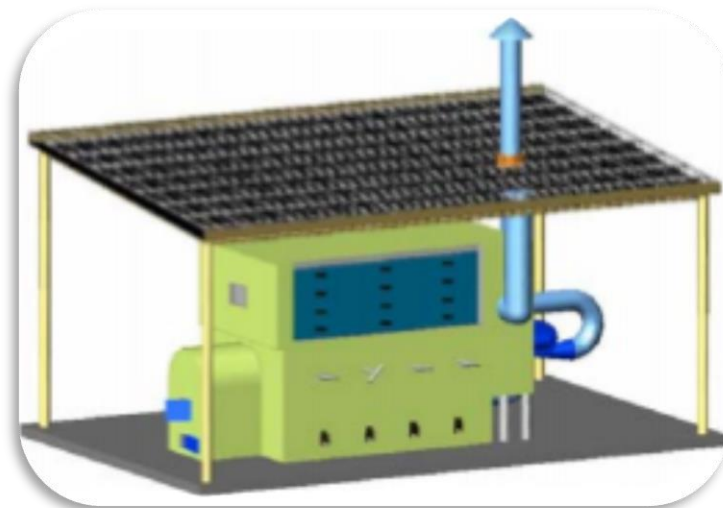


Figura 28: *Secador flexible*
Fuentes: (Sousa & Roberto, 2010)

- **Secador neumático**

En el secador de lecho fijo modelo que es ampliamente utilizado para el pre secado o secado de café, requiere de una agitación durante el proceso de homogenización del secado de café. Cuando se ejecuta manualmente la operación de agitación se requiere un gran esfuerzo físico sobre todo en el comienzo del secado de café cuando el producto todavía tiene un alto contenido de humedad. Durante la agitación manual se requiere del uso de mano de obra innecesaria, pérdida de energía, y un aumento en el tiempo de secado. Para reducir esto se utilizan secadores con agitación mecánica en donde se mejora la calidad del producto pero se realiza un aumento en el consumo de energía porque los granos que pasan más rápido perderán menos humedad por unidad de tiempo. Además de estos aspectos, los sistemas para la descarga y carga del grano además del sistema de agitación causan dificultades en la instalación y aumenta el mantenimiento y el costo inicial de la secadora. Para corregir esto un sistema de transporte simple con un costo relativamente bajo es el transportador neumático.

Este tipo de transportador fue tomado de la experiencia ganada en el proceso de carga y descarga de granos en los barcos. El transportador neumático mueve granos por el uso de aire de alta velocidad, a través de un sistema de tuberías hermético. Con el sistema neumático el producto puede ser transportado en cualquier dirección, incluyendo a lo largo de las vías curvadas. Otro aspecto interesante es su uso en una instalación fija, que puede ser construido sin la necesidad de cambios estructurales significativos. Teniendo en cuenta la ventaja de la secadora de lecho fijo y de la simplicidad y el bajo costo del sistema de transporte neumático, un sistema de secado de café que permite el movimiento del producto para la carga, descarga y agitación utilizando un único ventilador centrífugo, impulsado por un motor eléctrico de 2 hp fue desarrollado y evaluado. Con estas características, la secadora puede entregar hasta 60 kg de café pergamino seco por hora. (Sousa & Roberto, 2010)


	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	




Figura 29: Secador Neumático
Fuente: (Sousa & Roberto, 2010)

- **Secado por método *dryeration***

El proceso de secado por *dryeration* involucra un proceso de secado a altas temperaturas y un proceso de aireación del producto. Es uno de los métodos de secado más innovadores que se ha adaptado a sistemas de secado de café. Con el proceso de secado a altas temperaturas el café se deja con un contenido de humedad de dos por ciento por encima del ideal, este café luego es transportado a un contenedor en donde se le permite enfriar por 6h sin flujo de aire, para más tarde ser transportado a otro contenedor en donde perderá ese 2% restante de humedad necesario para estar en un estado óptimo. (Mckenzie & Foster, 2000)

La *dryeration* proporciona tres ventajas sobre los métodos de secado de café tradicionales

- Aumento de la capacidad secadora
- Menor necesidad de energía
- Mejor calidad del café.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

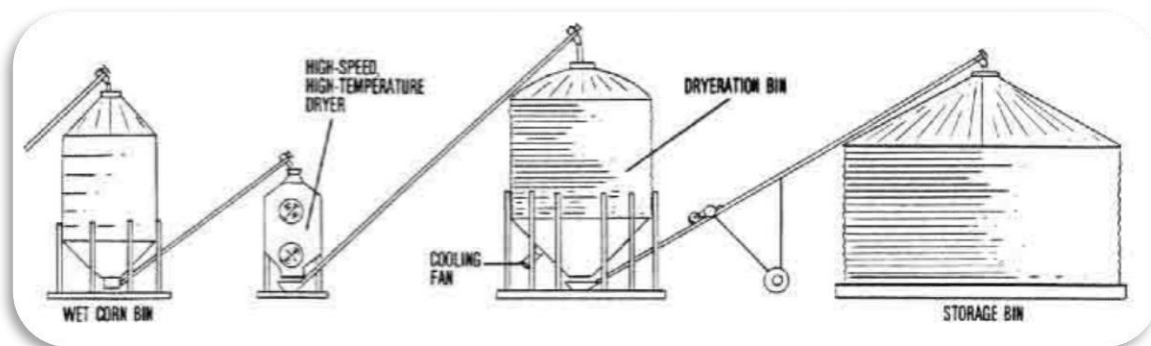



Figura 30: Secado por método dryeration
 Fuentes: (Mckenzie & Foster, 2000)

2.6 Secado de productos agrícolas

El secado de alimentos es un método antiguo utilizado para la preservación de los alimentos, desde hace décadas los indígenas utilizaban este método para secar manzanas, maíz, pasas uvas y carne. (DeLong, 2006) En comparación con los otros métodos de preservación de los alimentos el secado es un método bastante simple, los alimentos secos se mantienen por más tiempo conservados debido a que se disminuye considerablemente el porcentaje de agua del producto, además reduce la actividad microbiológica, enzimática y minimiza las reacciones físicas y químicas durante su almacenamiento.

El secado de alimentos no compite con otros métodos de conservación como son el enlatado o la congelación ya que con estos métodos se conservan mejor los sabores, conservan una mejor apariencia y mejor valor nutricional de los alimentos, pero el secado es una excelente manera de conservar los alimentos, además los alimentos secos requieren menor cantidad de espacio de almacenamiento que los alimentos congelados o enlatados y se puede realizar el secado por diferentes métodos ya sea utilizando la energía del sol o por medio de hornos o secadores.

Aunque el secado solar es un método popular y muy barato, en algunos lugares no tienen un clima adecuado para ello. La deshidratación solar confiable de alimentos requiere de 3 a 5 días consecutivos cuando la temperatura es de 35°C y la humedad es muy baja. (Journal Farm, 1980). Hoy en la mayoría de los procesamientos de alimentos en donde se requiera realizar el secado de algún producto agrícola se hace mediante el secado por convección de aire, en este proceso se presenta una transferencia de calor por convección y un contacto directo del producto con el aire caliente generado por la quema ya sea de combustibles fósiles, GLP, biomasa o la electricidad produciéndose una evaporación del agua presente en el producto. Para que este proceso se realice eficientemente se requiere establecer y controlar las condiciones básicas del proceso como la temperatura, humedad relativa del aire, flujo de aire, tamaño y forma del producto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Debido a que el secado de alimentos es una operación costosa y de alto consumo energético está ocurriendo un auge en la investigación y desarrollo en cuanto a métodos de secado y sus esfuerzos se dirigen hacia la reducción en el consumo de energía, la calidad del producto y el impacto ambiental. (Mujumdar, 2014). Entre los procesos de secado de alimentos se encuentran los secadores de cámara de gas, solares, secadores de bandeja, lecho fluidizado, tambor rotatorio, banda transportadora continua, por ultrasonido y bomba de calor.

2.6.1 Teoría del secado

Durante el proceso de secado existe una transferencia simultánea de materia y energía. Tan pronto como el alimento se pone en contacto con el aire, la humedad superficial comienza a vaporizarse disminuyendo su concentración en la superficie dando origen a una diferencia de concentraciones entre el interior del alimento, que aún permanece húmedo, y la superficie que se ha secado parcialmente por evaporación. Debido a esta diferencia de concentraciones se establece un flujo de agua líquida por difusión o capilaridad del interior del producto hacia la superficie. Estos dos procesos, evaporación y difusión, se efectúan simultáneamente hasta que se suspende el secado (Scherer, 1990).


Durante el proceso de secado se generan los siguientes métodos de transporte de masa y energía:

- Transmisión de calor desde el aire hasta la superficie del producto por medio de conducción, convección o radiación.
- Transmisión de calor desde la interface solido-aire hasta el interior del solido por medio de conducción
- Transmisión de materia a través del solido por difusión o capilaridad dependiendo de las características del producto.
- Transferencia de vapor desde la interface solido-aire hasta el seno del aire.

Los factores que regulan la velocidad de estos procesos son los que determinan la velocidad con la cual se realizara el secado y son dependientes del tamaño del alimento a secar el cual normalmente se divide en fracciones pequeñas con el fin de aumentar el área de transferencia de calor.

La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes de transferencia de calor y de masa en algunos casos la velocidad de secado aumenta al incrementar la velocidad del aire, pero a partir de cierto punto la velocidad de secado ya no depende de este factor debido a que la difusión del agua a través del solido no aumentara por más que aumente la velocidad másica del aire. (Gonul *et al.*, 1996)

Al aumentar la temperatura de secado la velocidad de secado aumenta y por lo tanto el tiempo en que se realiza disminuye. Pineda *et al.*, (2009), realizaron un estudio de secado de hojas de morera a diferentes temperaturas, al aumentar la temperatura del aire se incrementó la pendiente de la curva de deshidratación de la morera implicando como

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

consecuencia una disminución en el tiempo de secado debido a que el aumento en la temperatura de secado provocó un incremento en la temperatura del producto y el coeficiente de difusión del agua y a mayor temperatura la humedad relativa del aire es menor lo que aumenta la capacidad de absorber agua favoreciendo la remoción de humedad.

2.6.2 Curva de secado

La curva de secado es la evolución del contenido de humedad presente en el producto en el transcurso del tiempo y se representa como el contenido de humedad del producto vs el tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado. (Ver figura 31)

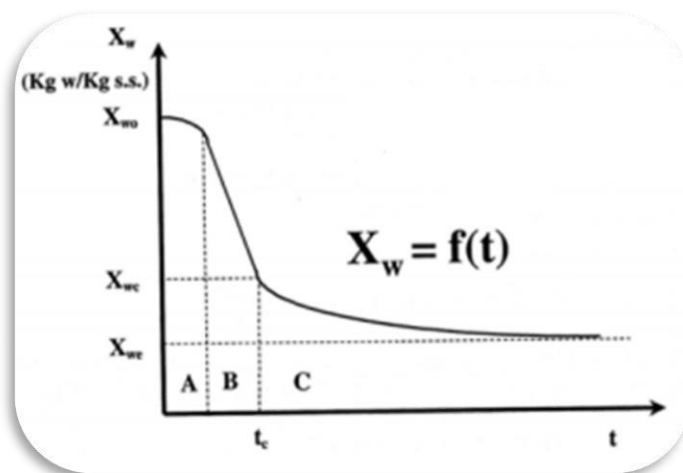



Figura 31: Curva de secado
 Fuente: (Maupoey *et al.*, 2001)

En Figura 31 se observan 3 zonas características:

- Zona A:** En la zona en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente y se conoce con el nombre de periodo inicial o periodo de inducción, acá se inicia el proceso de secado, el producto tiene una temperatura inferior a la del aire que se encuentra a su alrededor y la presión de vapor de agua en la superficie del producto es débil por lo cual la velocidad de secado también lo es. De manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interface, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. Este periodo depende también de numerosos factores y su duración será función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura y de la velocidad del aire (Scherer, 1990).
- Zona B:** En la cual la pendiente de la curva es constante y se conoce como Periodo de velocidad constante, esta zona se presenta en productos donde la resistencia externa a la evaporación de agua de su superficie es mucho mayor que

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	


la resistencia interna, es decir la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. Por esta razón la velocidad de secado es igual a la velocidad de evaporación del agua, que a su vez es proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde los alrededores al sólido. En estas condiciones la temperatura de la interface será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con la cual el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación y es el punto en donde se requiere de toda la energía que llega del aire para evaporar agua del alimento.

- Zona C:** En la cual la pendiente disminuye con el tiempo y se conoce como periodo de velocidad decreciente, esta zona se observa una disminución en magnitud de la velocidad de secado con respecto al período constante. Se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, conforme el contenido de humedad disminuye por debajo del punto crítico, la fuerza impulsora ejercida por la diferencia de presiones de vapor decrece y esto origina una reducción en la velocidad de secado y, por consiguiente, el alimento comienza a absorber calor e incrementa su temperatura y comienzan a aparecer zonas secas. Al reducirse la velocidad de secado en este período, se incrementa notablemente el tiempo de deshidratación, por lo que este fenómeno tiene un efecto importante sobre el tiempo total de secado (Maupoey *et al.*, 2001)

2.7 Trazas de carbono y gases de efecto invernadero

2.7.1 Trazas de carbono:

Existe una elevada cantidad de elementos químicos que se encuentran presentes en la naturaleza en concentraciones muy bajas (<100ppm) conocidos como elementos traza o metales pesados y son estos elementos los que se pueden clasificar como contaminantes ambientales, entre los metales pesados hay elementos esenciales como el hierro, cobre, zinc, magnesio y molibdeno y otros no esenciales para los seres vivos como el cadmio, mercurio, plomo, arsénico, selenio. Sean o no esenciales el exceso de alguno de estos elementos puede llegar a ser tóxicos y afectar negativamente el crecimiento y reproducción de los organismos. La emisión de metales pesados se atribuye de manera natural a las erupciones volcánicas, las tormentas de arena en los desiertos, torbellinos en lugares erosionados, evaporación de agua de superficies naturales, incendios forestales, descomposición de materia orgánica. Y de manera artificial gracias a los procesos industriales, combustión de combustibles fósiles, refinamiento de productos mineros. La contaminación del aire por metales pesados proviene, mayoritariamente de gases y partículas emitidos durante la combustión de carburantes fósiles como el carbón y el petróleo por ejemplo durante la combustión de carbón elementos presentes en este como son el arsénico, el mercurio, el selenio, el cadmio y el plomo son liberados al ambiente y debido a que países como china, india e indonesia presentan una alta tendencia por el consumo de carbón se prevé un aumentos de estos metales pesados o trazas de carbono en el ambiente. (Hanwant B , 1995)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Los elementos trazas cuyas emisiones se consideran actualmente de mayor importancia son arsénico, cadmio, plomo y mercurio siendo este último el de mayor interés debido a ser extremadamente volátil y a no ser posibles su captura por los sistemas de control convencionales como filtros y precipitados electrostáticos.

2.7.2 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son todos los compuestos químicos en estado gaseoso que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Es decir, un gas de efecto invernadero es todo gas que contribuye al efecto invernadero, lo intensifica y lo vuelve más peligroso, aumentando considerablemente la temperatura del planeta, siendo este un factor fundamental en el calentamiento global.

Los gases de efecto invernadero pueden ser de distintos tipos y pueden tener diversos orígenes, tanto naturales como artificiales. Los gases más comunes dentro de estas categorías son

El dióxido de Carbono (CO₂) con una participación total del 77% de los cuales el 57% es generado debido al uso de combustibles fósiles y el restante 20% es generado por la deforestación y pérdida de biomasa.


El metano o CH₄ cubre un 14% de los gases de efecto invernadero generado a causa de la actividad agrícola y de manera natural debido a las flatulencias de las vacas.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) los cuales tienen una participación del 8% se generan debido a la actividad agrícola como el uso de fertilizantes. (Hanwant B, 1995)

Los gases fluorados que se emiten como resultado de procesos industriales, refrigeración, y el uso de una variedad de productos de consumo contribuyen a las emisiones de los gases fluorados que incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) los cuales comprenden un 1% del total de GEI (Metz *et al.*, 2007).

2.7.3 Beneficios en la reducción de las trazas de carbono y los gases de efecto invernadero en la comercialización del café

La sociedad ha venido adquiriendo una conciencia frente al deterioro ambiental que se viene presentando. Los consumidores demandan productos que no generen daños a su salud y a su vez que en sus procesos productivos minimicen o eliminen en lo posible los impactos ambientales que se puedan causar. Esta situación conlleva a que los productores que deseen ofertar sus productos en los diferentes mercados asuman posiciones más amigables con el medio ambiente reconvirtiendo sus procesos de producción e integrando a su misión la protección de los recursos naturales. Se calcula que el consumo de café verde ha aumentado en los últimos años a una escala global del 78% (Leibovich, 2010) lográndose con esto grandes aportes ambientales como la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental en las regiones cafeteras del país. La ejecución de programas dirigidos al manejo integral de micro cuencas y en general a preservar el recurso como el agua. El apoyo a proyectos de Cafés Especiales. La generación de Tecnologías en armonía con el medio ambiente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Además de los beneficios ambientales también se logran beneficios económicos para el caficultor como son una garantía de compra y venta de la cosecha para todos los Caficultores Colombianos, sostener una “prima” para el café colombiano en los mercados internacionales, basada en la calidad de nuestro grano. La generación y desarrollo de tecnologías con impactos económicos en el proceso productivo del cultivo. Además de tener la posibilidad de generar bonos de carbono, el cual es un mecanismo propuesto en el Protocolo de Kioto para la reducción de gases de efecto invernadero, estos bonos de carbono se pueden vender sin problema en el mercado del carbono tanto a países como a empresas que rebasan sus cuotas de gases de efecto invernadero generando así más ingresos al caficultor (Orozco *et al.*, 2010).

2.8 Compresor inverter (inversor)


2.8.1 Que es un compresor:

Un compresor es una máquina cuya función principal es aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir. Durante el proceso de compresión el fluido de trabajo sufre cambios la presión del gas aumenta, el volumen del gas se reduce y la temperatura del gas se eleva.

2.8.2 Tecnología de compresor inverter (inversor)

Cuando se utilizan equipos con termostato para el control de temperatura, este solo realiza dos mediciones hay presencia de temperatura y ausencia de temperatura el sistema es conocido como todo o nada es decir que el equipo está funcionando al 100 % de sus posibilidades o fuera de servicio, no existiendo en este caso opción intermedia.

Con el sistema Inverter (inversor) se puede operar con una gran variedad de temperaturas las cuales utilizamos para realizar el control del ambiente y los equipos utilizados no realicen arranques o paros en su funcionamiento. (Ver Figura 32)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

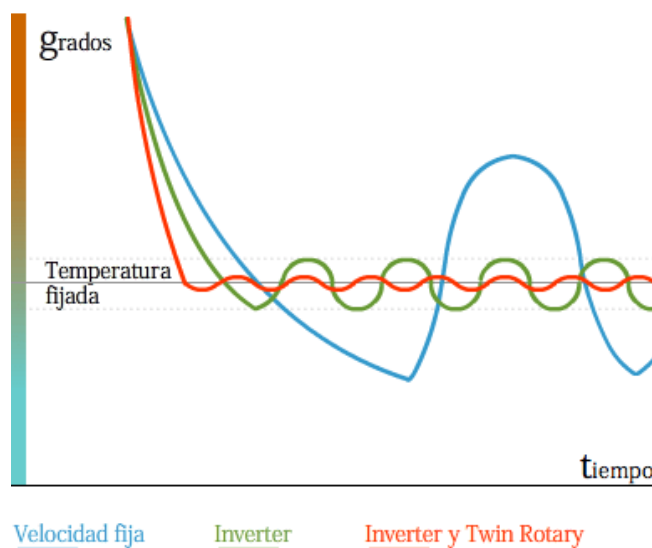



Figura 32: Comparación entre un Compresor Convencional y un Compresor Tipo Inverter
 Fuentes: (Rivas, 2015)

El principio se basa en regular la capacidad de mantener la temperatura requerida en su sistema para esto se requiere controlar la frecuencia con el fin de variar la velocidad de rotación del compresor. Si aumentamos la frecuencia generamos aumento de la velocidad de rotación del compresor, lo que realiza es un aumento de circulación de refrigerante, ocasionando un mayor intercambio de calor. Pero cuando la frecuencia disminuye la velocidad de rotación el compresor baja sus revoluciones y produce una reducción de la circulación de refrigerante, consiguiéndose un menor intercambio de calor. Se le conoce a la tecnología Inverter (inversor) al dispositivo electrónico que realiza la regulación del voltaje, la corriente y frecuencia de alimentación es decir, que la tecnología Inverter (inversor) es un circuito electrónico de conversión de energía eléctrica a la generación de energía calórica que depende a la función que desempeñara el aparato. (Rivas, 2015)

Aplicado a los sistemas de aire acondicionado el dispositivo electrónico inverter (inversor) lo que hace es modificar la corriente eléctrica que alimenta al compresor y de esta manera modificando la frecuencia, intensidad o voltaje de la corriente de alimentación del compresor, se puede conseguir también variar las revoluciones de funcionamiento del mismo y por ende del caudal de refrigerante que circula por el circuito. Con ello se podrá conseguir que el compresor pueda girar a distintas velocidades en función de las necesidades de carga térmica de cada momento, permitiendo además al sistema adaptarse más eficazmente y de forma más rápida a la demanda de cada instante y reduciendo también, como se verá más adelante, el consumo eléctrico.

Comparándolo con un sistema estándar la tecnología inverter (inversor) permite ajustar el funcionamiento del compresor a la demanda de la carga, proporcionando mayor eficiencia y reduciendo las pérdidas. Por ejemplo, cuando las condiciones de temperatura no requieran de la máxima potencia el dispositivo inverter (inversor) permitirá que las revoluciones de giro del compresor disminuyan por debajo de su régimen nominal, y al bajar el régimen de trabajo del compresor, se reduce también su potencia de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

funcionamiento y por tanto, su consumo eléctrico, aumentando así la eficiencia global del sistema (Whitman *et al.*, 2013).

2.8.3 Funcionamiento y ventajas


El proceso de la tecnología inverter (inversor) su principal función es realizar que el compresor inicie su funcionamiento al 100% de su capacidad, desde el principio hasta alcanzar la temperatura deseada; con el sistema inverter (inversor), podemos regular la corriente de alimentación del compresor, éste en los primeros momentos, solo al momento del arranque del sistema, y podemos aumentar su velocidad de giro por encima de su régimen nominal, alcanzando incluso hasta un 130% de su capacidad, lo que nos permitiría alcanzar las temperaturas requeridas mucho antes que lo haría un sistema tradicional. Con este funcionamiento el compresor no generara picos de voltaje en cada arranque del motor para esto utilizamos el control en la velocidad así aseguramos que el motor del compresor trabaje a una velocidad que nos permita alcanzar la temperatura de confort. (Buque, 2009)

Durante el funcionamiento de cualquier sistema con tecnología inverter (inversor) se pueden distinguir distintas fases o etapas en su funcionamiento:

- **Fase de Máxima Potencia:** Cuando las condiciones del lugar presentan gran variación en las temperaturas y se requiere que el compresor trabaje a su máxima capacidad para alcanzar la temperatura deseada.
- **Fase de Potencia Media:** Cuando las condiciones son normales, el compresor regula las revoluciones, controlando su potencia a la necesidad del sistema.
- **Fase de Mínima Potencia:** Cuando las condiciones ambientales son favorables el compresor continúa trabajando a muy bajas revoluciones, consumiendo de esta manera muy poca energía.

La tecnología inverter (inversor) adapta la velocidad del compresor a las necesidades de cada momento, permitiendo consumir únicamente la energía necesaria lográndose con estas grandes ventajas como son

- **Rapidez de enfriamiento:** Al poder regular la potencia de alimentación del compresor, el dispositivo electrónico inverter (inversor) permite que éste pueda trabajar hasta un 30% por encima de su potencia nominal en los primeros instantes, con el fin de poder llegar antes a la temperatura de confort.
- **Uso eficiente de la energía:** El compresor regula su régimen de revoluciones, y por tanto, la potencia de salida, adaptándose a la demanda de cada momento. Esta regulación eficiente y lineal de la temperatura mantiene una sensación de mayor confort para el usuario.
- **Consumo de energía:** La posibilidad de regular el régimen de giro del compresor a la demanda de cada momento permite un ahorro de consumo energético. De hecho, se ha demostrado que un climatizador que incorpore tecnología inverter (inversor)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

consume aproximadamente la mitad de energía eléctrica que un modelo sin función inverter (inversor). (Buque, 2009)

2.8.4 Tipos de compresores en el sistema inverter (inversor)

En un compresor tradicional con "escobillas", el estator detecta al rotor emitiendo impulsos eléctricos constantes, para lo cual suelen tener un par de anillos de rozamiento. Esta tecnología genera por tanto mucho rozamiento, disminuye su rendimiento, desprenden mucho calor y ruido durante su funcionamiento, además de requerir de mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

En los nuevos compresores aplicados a la tecnología inverter (inversor), la detección del movimiento de giro del rotor es digital y se elimina esa ineficiencia derivada del rozamiento de las escobillas. De esta manera, cuando se habla de compresores DC, o de sistema inverter (inversor) DC, se refiere a "Digital Control", es decir, a compresores sin escobillas y sin rozamientos.


2.8.5 Eficiencia energética de los compresores:

En el funcionamiento normal del compresor, parte de la potencia suministrada se libera en forma de pérdidas de calor al medio ambiente, reduciendo así la eficiencia total del sistema. La cantidad de energía que se pierde en el medio ambiente depende de las condiciones de trabajo y el tamaño y la tecnología del compresor. Las pérdidas de calor de los compresores de tamaño comercial para sistemas de bombas de calor (3 kW-15 kW) puede variar de 3 a 25% del consumo total del compresor pero estas pérdidas pueden aumentar de manera significativa para los compresores de baja capacidad (50-70%). La recuperación de una parte de esta energía podría conducir a una mejora en el desempeño global del sistema (Peris *et al.*, 2015).

Una variación porcentual que el sistema puede ofrecer desde su capacidad nominal para aumentar su potencia se conoce como la fase de potencia y una reducción cuando ya no es necesaria por ser favorable las condiciones y por lo tanto reducir el consumo se conoce como fase de ahorro.

- **Fase de Potencia.** Gracias a la tecnología inverter (inversor) que regula la amplitud de onda de la corriente de alimentación, los sistemas son capaces de revolucionarse y funcionar por encima de su capacidad nominal para reaccionar en condiciones adversas de temperatura, o cuando la estancia está sobrecargada de fuentes de calor.
- **Fase de Ahorro.** El gran secreto del inverter (inversor) es la capacidad de regular el ancho de onda de la señal de alimentación y que es responsable de la modulación de la capacidad para ajustarse a necesidades decrecientes de energía cuando las condiciones son favorables.

Un buen diseño supone elegir aquel modelo que opere en Fase de Ahorro la mayor parte del tiempo, y es aquí donde se nota la diferencia entre sistemas. En función de la tecnología, tanto electrónica como mecánica, el sistema puede funcionar muy por debajo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

de su capacidad nominal, generando importantes mejoras en razón de eficiencia energética, confort, nivel sonoro y por supuesto consumo (Peris *et al.*, 2015).


3. METODOLOGIA

Para lograr el desarrollo del primer objetivo del trabajo de grado se realizaron investigaciones en revistas, páginas Web, libros y tesis de maestrías y doctorados dedicadas al tema de la producción, comercialización e investigación del secado de café pergamino. Se buscarán en las bases de datos con las que cuenta la Universidad como *science direct*, al igual que libros y las bibliotecas que los poseen buscadas desde la red de bibliotecas del ITM.

Para desarrollar el segundo objetivo del proyecto se estudiaron las tecnologías empleadas en la región para el secado de café pergamino, logrando con esto captar su funcionamiento, conocer su estructura interna y la forma como se realiza el secado, conociendo el tiempo y el costo del proceso en el cual se garantiza la extracción de la humedad de los granos de café. El desarrollo de este objetivo también se vió apoyado por visitas a fincas cafeteras en las cuales realicen el proceso de secado con las diferentes tecnologías, ya sea secado por medio mecánico o secado solar para así recopilar información la cual será de gran ayuda para entender las necesidades del mercado, saber cuáles son los inconvenientes que tienen en este momento al utilizar estas tecnologías y sus necesidades a la hora de secar café, los costos del proceso tomando datos de las personas vinculadas directamente con el secado del café y ver qué tanta contaminación se genera durante el proceso de secado. Para tener una información más verídica se tienen unas visitas ya concertadas a fincas cafeteras ubicadas en el suroeste del departamento de Antioquia específicamente en el municipio de Salgar en donde se visitaran dos fincas las cuales una de ellas para su proceso de secado de café es realizado por medio secado solar y la otra realiza el proceso de secado de manera mecánica en donde el material combustible utilizado es el cisco del café así tendremos una gran información de los tiempos y la contaminación que realizan con estos métodos de secado.

Para el desarrollo del tercer objetivo se realizarán los diseños de los planos del prototipo del secador de café pergamino con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y compresor tipo inverter (inversor), para realizar este objetivo se contará con la ayuda de software de diseño mecánico asistido por computador y se trabajará de la mano del ingeniero Jonathan Díaz para satisfacer las necesidades y cumplir con los requerimientos de sus diseños.

Para el desarrollo del cuarto objetivo se realizara un estudio e investigación de los controles de los compresores tipo inverter (inversor) buscando su adaptación al proyecto. El estudio lo realizaremos en un secador rotativo con bomba tipo inverter (inversor), Con el cual lograremos analizar sus componentes y su funcionamiento con el fin de poder medir y cuantificar las temperaturas de operación dentro del secador y de esta manera

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

poder garantizar los tiempos de secado del café pergamino, evitando las imperfecciones que se generan en el grano durando el proceso de secado y reduciendo el consumo de energía.

Luego de tener toda la información recolectada por medios digitales y en las visitas programadas se procederá a desarrollar el trabajo de grado dando cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados.

4 Resultados y Discusiones

4.1 Análisis comparativo entre las tecnologías utilizadas en el secado de café en función de la generación y de gases de efecto invernadero, trazas de carbono y costo en el secado del café


4.1.1 Secadores solares

Los secadores solares de café sea cual sea su diseño tienen como objetivo utilizar la radiación generada por el sol para realizar un secado de café. Es el método más económico y ambientalmente amigable para cumplir y superar los estándares mínimos de calidad de café en Colombia. Con los otros métodos de secado se utilizan grandes cantidades de recursos energéticos para el proceso de secado, pero en el secado por medio de radiación solar no se generan gases de efecto invernadero y trazas de carbono debido a la no utilización de combustible fósil o biomasa durante el proceso, sería el método ideal de secado de café pero tiene sus desventajas, y una de ellas y que afecta directamente la cantidad y la calidad de café que se puede secar es la disponibilidad de brillo solar que en la mayoría de regiones cafeteras de nuestro país es baja debido a la alta nubosidad, las bajas temperaturas y la alta humedad relativa, dichas condiciones aumentan el tiempo de secado que en sus mejores promedios esta entre 3 a 7 días según la información suministrada por los cafeteros durante la visita y la información recolectada de la federación nacional de cafeteros de Colombia, comparado con los otros métodos de secado estarían muy por encima de los tiempos requeridos para secar café.

El costo de secar café por medio solar está ligado a la inversión inicial en la fabricación del diseño usado el cual puede variar entre 500.000 y \$1'000.000 (Cafeteros, 2010) dependiente del tamaño, los materiales usados y la mano de obra requerida y el tiempo de vida útil puede estar entre 3 a 5 años, comparando el costo con los métodos de secado mecánicos se evidencia precios de fabricación inferiores pero los volúmenes de cps son muy inferiores a los que se obtienen secadores mecánicos.

4.1.2 Secadores mecánicos

El secado mecánico del café se utiliza cuando las condiciones ambientales no son favorables para el secado solar y/o cuando el flujo de café diario es alto. En Colombia el secado mecánico se realiza de manera casi generalizada por medio de silos secadores ya sean de dos o tres cámaras, en la visita realizadas a las fincas cafeteras en la región del suroeste antioqueño se evidenció el uso de este tipo de tecnología empleada en fincas de

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

mediana y gran producción variando solo la capacidad de secado del silo y el material combustible empleado para esto. Con el modelo de secado planteado en esta tesis se disminuye el impacto ambiental reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas, En los silos visitados y en general en el país la utilización de cisco y carbón como fuente de energía para general calor están generando un gran impacto ambiental debido que para producir una tonelada de café pergamino seco se emiten gracias a la quema de cisco 188.82 kg de CO₂ y gracias a la quema de carbón 1265.7 kg de CO₂ además de esto el carbón está incrementando las trazas de carbono generadas durante el proceso (Gutierrez F. , 2011) además gracias a los datos recolectados durante la visita se logró conocer que para obtener una arroba de café pergamino seco (12.5 kg) se requiere entre 7 y 15 kg de cisco y entre 6 y 13 kg de carbón mineral. El cisco como fuente combustible es el más utilizado hoy en día en las fincas cafeteras debido a su bajo costo en relación al costo del carbón, a pesar de requerirse más cantidad de cisco para sacar una arroba de café pergamino seco por ejemplo por cada 2 kg de cisco se obtiene la energía equivalente a 1 kg de carbón. (García , 2010).

En los datos recolectados durante la visita pudimos determinar cuánto cuesta secar una arroba de café pergamino seco con carbón y con cisco, gracias a los datos suministrados por los cafeteros y sus unidades de compra en donde 1 kg de cisco puede variar en costo entre 23 y \$60 dependiendo del lugar de compra y la demanda del producto sin tener en cuenta el transporte hasta el beneficiado.

El costo de un bulto de carbón de 70 kg ronda los \$8750 lo que equivale a 1 kg de carbón cuesta \$125. De los anteriores datos recolectados podemos determinar que para secar una arroba de café con cisco nos gastamos en promedio \$530 y para secar una arroba de café con carbón nos gastamos \$1172.5. Los datos de costo y cantidad de gases de efecto invernadero generados pueden ser resumidos en la tabla 1.

Tabla 1: Costo y emisiones de CO₂ durante el secado de café por medio de silos

Combustible	Emisiones de CO ₂ por t.c.p.s	Cantidad de combustible requerido para secar 1@ c.p.s	Costo de 1 kg de Combustible	Costo de secar 1@ de c.p.s
Cisco de Café	188.86 K	7-15 K	23-\$60	161-\$900
Carbón Mineral	1265.7 k	6-13 K	120-\$125	720-\$1625

4.1.3 Secador con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y con compresor tipo inverter (inversor).

Como se pudo constatar a través de todo el trabajo desarrollado se ha avanzado mucho en la implementación de nuevas tecnologías y el aprovechamiento de la energía utilizada pero sin embargo hoy con la utilización de los combustibles empleados no se ha logrado disminuir el impacto ambiental generado por la emisión de GEI y de trazas de carbono,

con el propósito de contribuir a la reducción de estos y dada la necesidad mundial de utilizar fuente de energía con menor impacto ambiental se ha planteado el proyecto del secador con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y con compresor tipo inverter (inversor), a pesar de ser un proyecto que aún no se encuentra implementado podemos decir sin duda alguna que la generación de gases de efecto invernadero y trazas de carbón durante el proceso de secado se verán reducidas de manera sustancial, esto debido a que la energía requerida para su funcionamiento es netamente eléctrica y no requiere de ningún tipo de combustible fósil o biomasa para su funcionamiento, aunque somos conscientes que la generación de energía eléctrica en el país es obtenida por medios hidráulicos, eólico y por centrales termoeléctrica, siendo esta ultima la mayor generadora de emisiones de gases contaminantes que se producen debido al proceso de combustión propio de este tipo de generación, (Ver Figura 33)

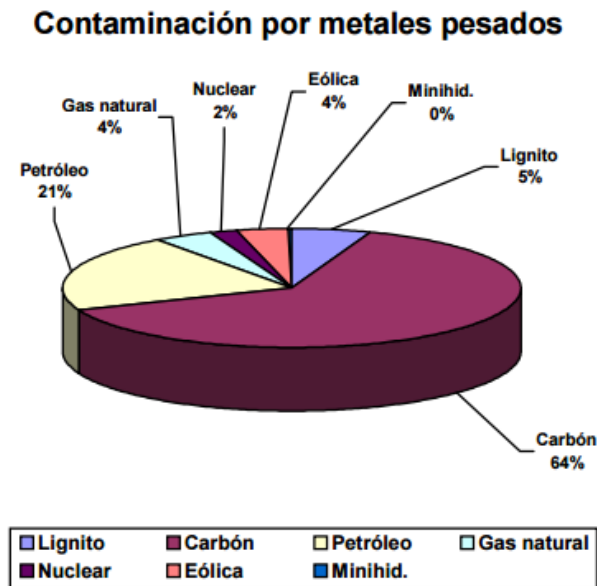


Figura 33: Impacto ambientales en la producción de Energía eléctrica

Fuente: Impactos Ambientales de la Producción de electricidad, por asociación española de productores de energía renovables España 2015

Pero para reducir esa huella de carbono las plantas termoeléctricas han incorporado a las instalaciones diversos elementos y sistemas, siendo las de plantas de gas natural las que menos emisiones de gases de efecto invernadero y trazas de carbono y material particulado generan como lo podemos ver en la siguiente tabla (Ver tabla 2)


	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 2: Emisión de CO₂ de los tipos de centrales Termoeléctricas

Combustible	Emisiones de CO ₂ Kg/KWh
Gas Natural	0,44
ACPM	0,71
Biomasa (leña, madera)	0,82
Carbón	1,45

Fuente: ORGANIZACION Latinoamericana de Energía OLADE. Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas Quito, 1993.


En nuestro País el sistema de generación de energía termoeléctrica tiene un porcentaje de participación del 28,42% del total generado, de las cuales las termoeléctricas que operaran a gas cubren el mayor porcentaje de generación de energía de este tipo con una generación para el año 2015 de 1548 MW de energía de un total de 4,743 MW (ver tabla 3)

En nuestro departamento la única central termoeléctrica se encuentra ubicada en el municipio de puerto Nare conocida como la Sierra y es operada por las empresas públicas de Medellín (EPM).

La sierra opera en un ciclo combinado utilizando ACPM como fuente de combustible con una generación para el año 2015 de 364 MW. (Informe de operaciones del SIN y administración del Mercado XM S.A E.S.P 2015 Medellín Colombia) Asi mismo cabe destacar que el mayor porcentaje de participación en la generación de energía del país lo tienen las centrales hidroeléctricas con un 66.60% siendo este tipo de energía más limpia que la generada en las termoeléctricas

Tabla 3: Capacidad de Energía neta Generada en Colombia

Recursos	2015 MW
Hidráulica	10,892
Térmicos	4,743
Gas	1,548
Carbón	1,339
Combustóleo	299
ACPM	1,247
Jet1	46
Gas-JetA1	264
Menores	698,42
Cogeneradores	86,6
Total	16,420


 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Fuente: Informe de operaciones del SIN y administración del Mercado XM S.A E.S.P 2015 Medellín Colombia.

Así el proyecto del secador con tambor rotatorio usando des humidificación con bomba de calor y con compresor tipo invertir sea alimentada de fuentes de energía generada por medio de termoeléctricas no generara gases de efecto invernadero o trazas de carbono de manera directa como los generados por los secadores mecánicos descritos con antelación. Lográndose con esto un impacto positivo en la producción y comercialización del grano ya que el comercio mundial está encaminado hacia el consumo de productos limpios y que cuiden el medio ambiente.

Otro de los grandes problemas evidenciados durante la visita y que fue una queja generalizada de los productores es la gran demanda de cisco, debido a que en la región la mayoría de secadoras de café utilizan este como fuente de combustible, lo que conlleva a un encarecimiento y a la necesidad de traer el producto desde zonas cada vez más alejadas del beneficiadero, por ejemplo una de las fincas ubicadas en el municipio de Salgar debido a su alta producción de café por la temporada de cosecha requiere traer el cisco desde el munición de Caldas lugar que se encuentra bien alejado del beneficiad ero por lo tanto los costos en el proceso de secado se ven incrementados y en ocasiones se ve afectado debido a los problemas que se pueden presentar en carretera durante el transporte.

En el caso del carbón como fuente de combustible el caso no es más alentador pues como es conocido el sector minero y en especial el productor de carbón se encuentra en crisis debido al cierre de minas a causa de las tragedias ocurridas recientemente, a los problemas fronterizos con Venezuela y las limitaciones de transporte de este mineral debido a las catástrofes ambientales presentadas razón por la cual el precio de un bulto de carbón se han incrementado considerablemente hasta el punto que los caficultores buscaron la forma de adaptar sus secadores de café por carbón a cisco.

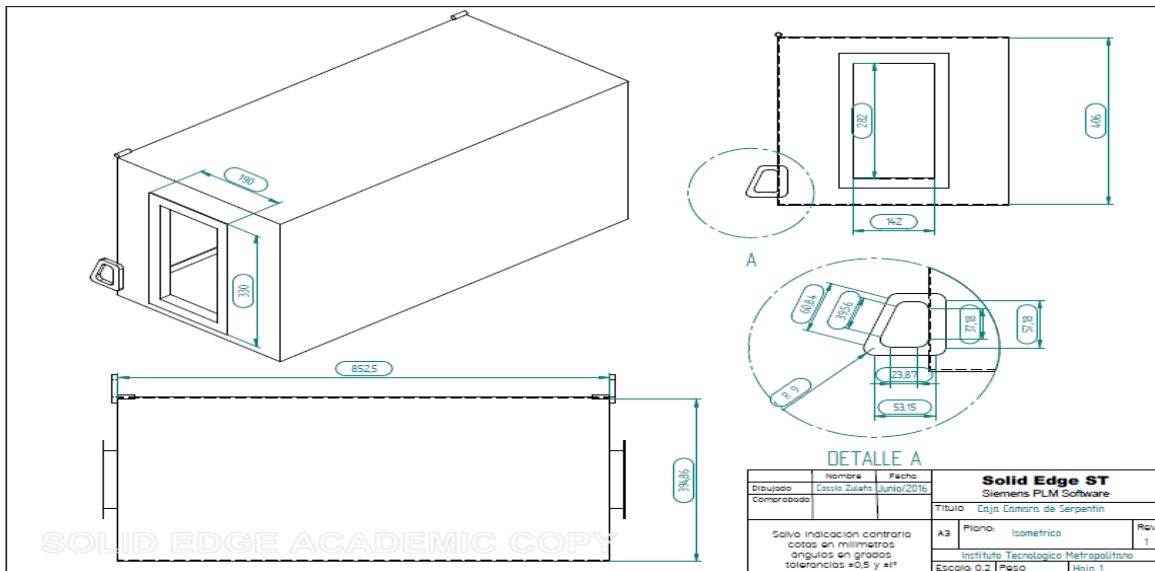
 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2 Planos del prototipo secador de café pergamino con tambor rotatorio usando des-humidificación con bomba de calor y con compresor tipo inverter (inversor).


4.2.1 CAJA CAMARA DEL SERPENTIN:

La función de este es la protección de los serpentines además deservir de conducto por donde circulara el aire proveniente de la canasta del secado del café pergamino el cual está conectado por los ductos. Como se observa en el plano isométrico 1.

Consta de una estructura rígida metálica con el acceso a los serpentín de forma lateral.

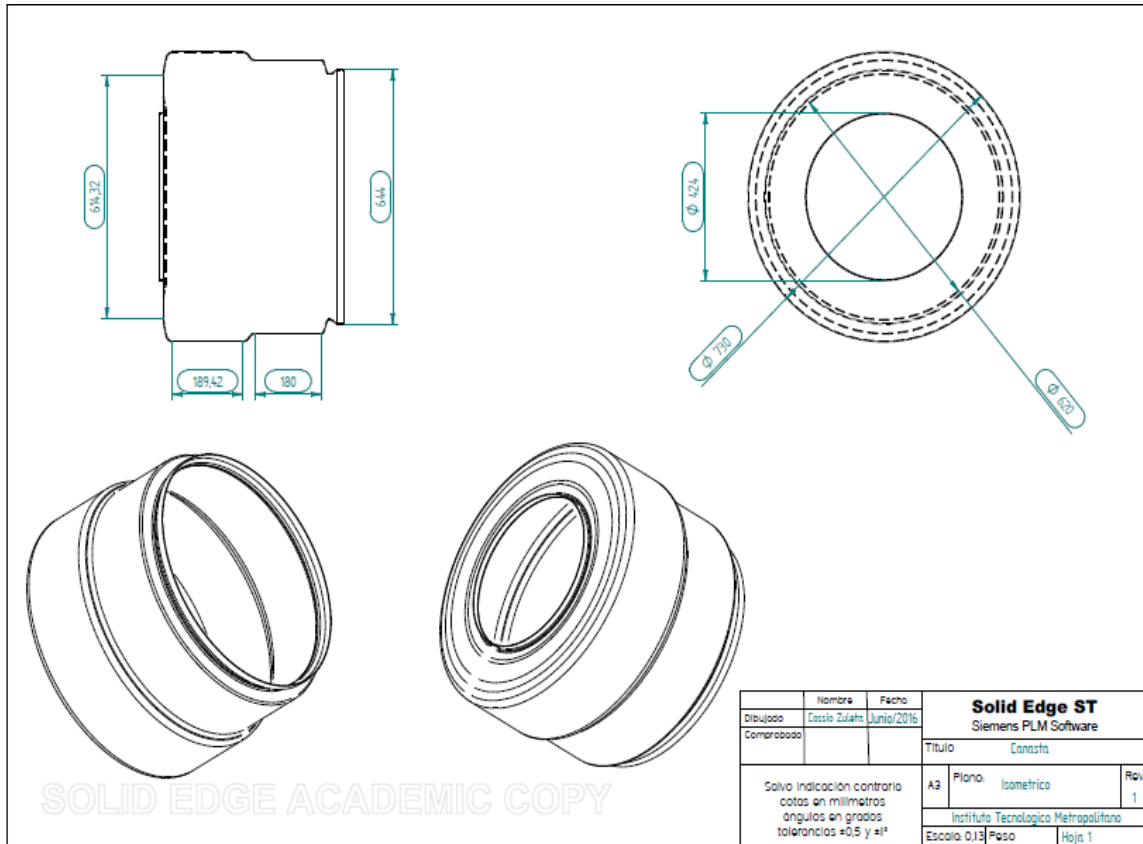


Plano Isométrico 1: Caja Cámara de Serpentin
Fuentes: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.2 TAMBOR ROTATIVO:

Estructura rígida, metálica que tendrá como la función de alojar el café pergamino durante el proceso de secado, internamente tendrá 3 aspas las cuales tendrán en movimiento el café pergamino. Como lo podemos observar en el plano isométrico 2

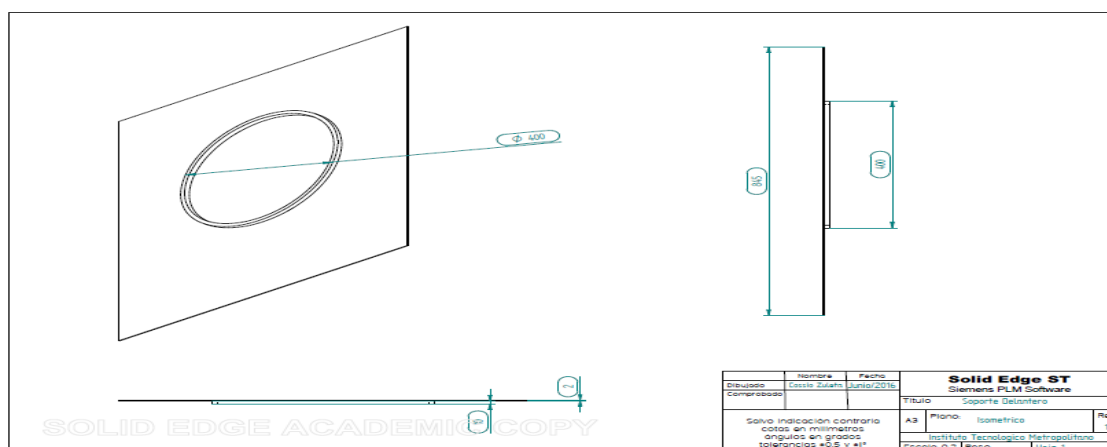


Plano Isométrico 2: Tambor rotativo

Fuentes: Elaboración propia

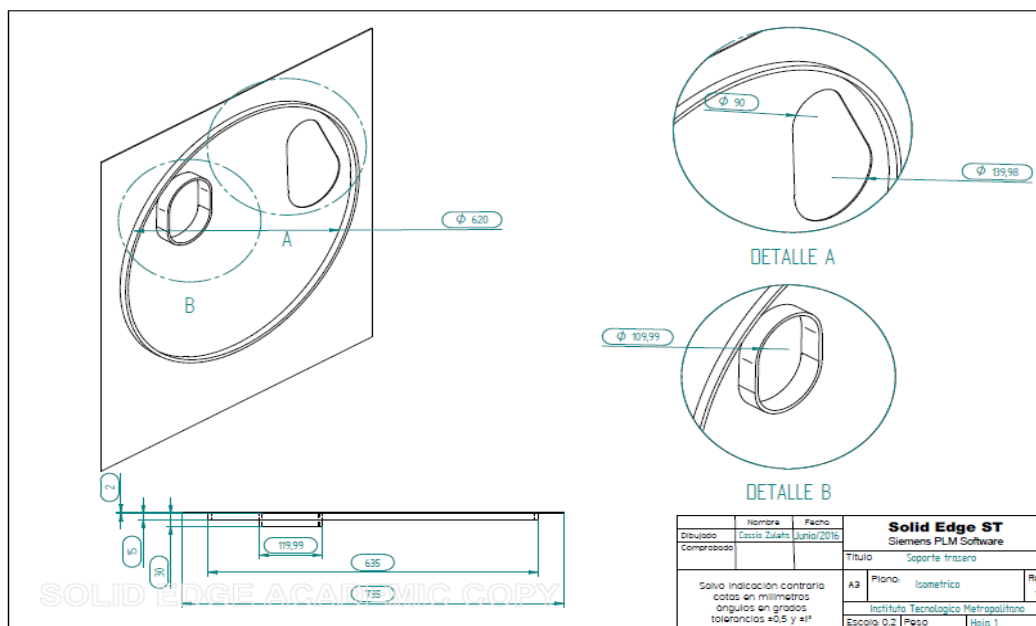
4.2.3 soporte DELANTER Y TRACERA:

Son encargados de generar la estabilidad y soporte para el tambor rotativo el ventilador y los ductos de conexión de los ductos entre la cámara y el serpentín. Se puede verificar en los planos isométricos 3-4




Plano Isométrico 3: Soporte Delantero

Fuentes: Elaboración propia



Plano Isométrico 4: Soporte Trasero

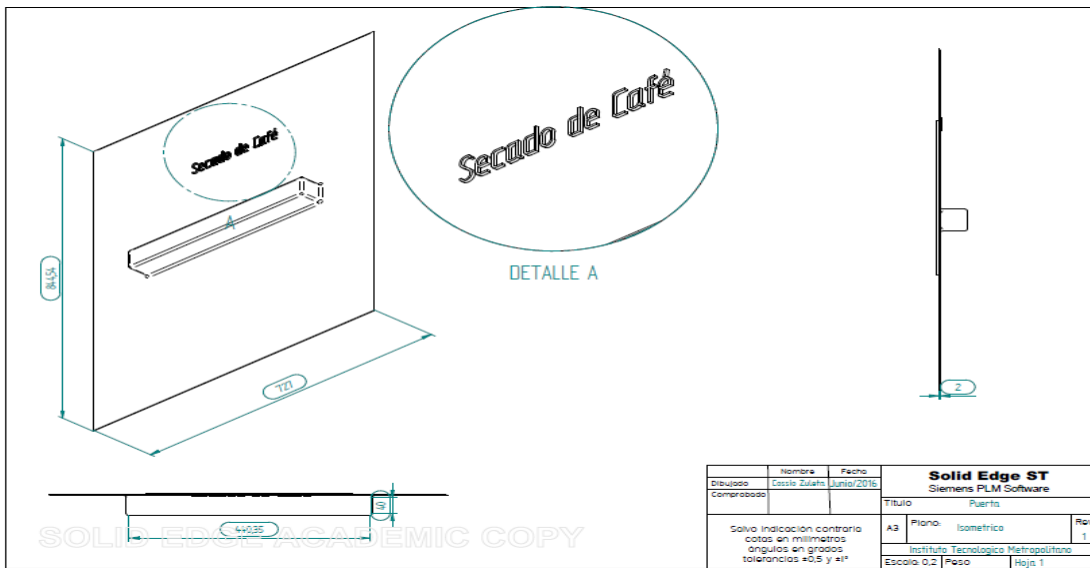
Fuentes: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.4 PUERTA CAJA DE SECADO:

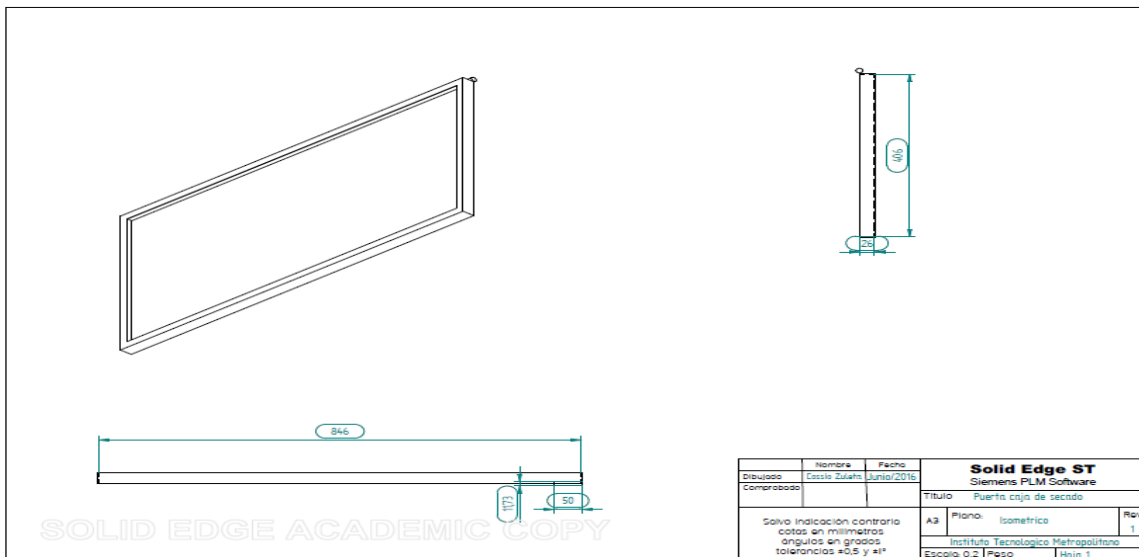
Es la que realiza el sellamiento de la canasta para evitar el desperdicio del aire que se encuentra en el tambor.

Es la parte móvil del secador la cual en su estructura tiene separaciones las cuales nos permiten que el café que se está en el proceso no sea expulsado del tambor. Como la podemos observar en los planos isométricos 5 - 6




Plano Isométrico 5: Puerta

Fuentes: Elaboración propia

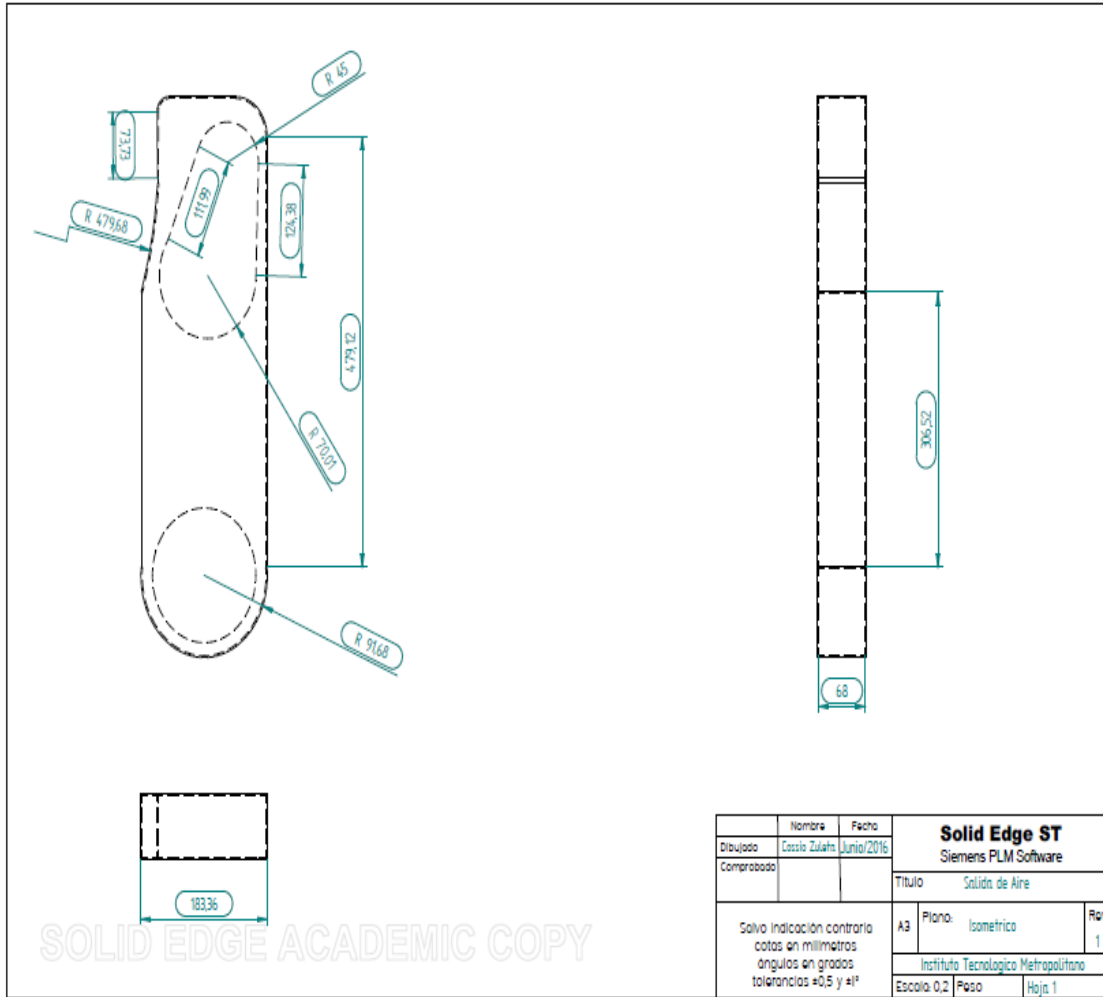


Plano Isométrico 6: Puerta Caja de Secado

Fuentes: Elaboración propia


 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.5 Salida del aire: en la gráfica podemos observar donde podemos conectar las mangueras de transporte tanto del aire caliente y el aire frío el cual utilizaremos para el secado del café pergamino se puede observar en el plano isométrico 7.



Plano Isométrico 7: Salida de Aire

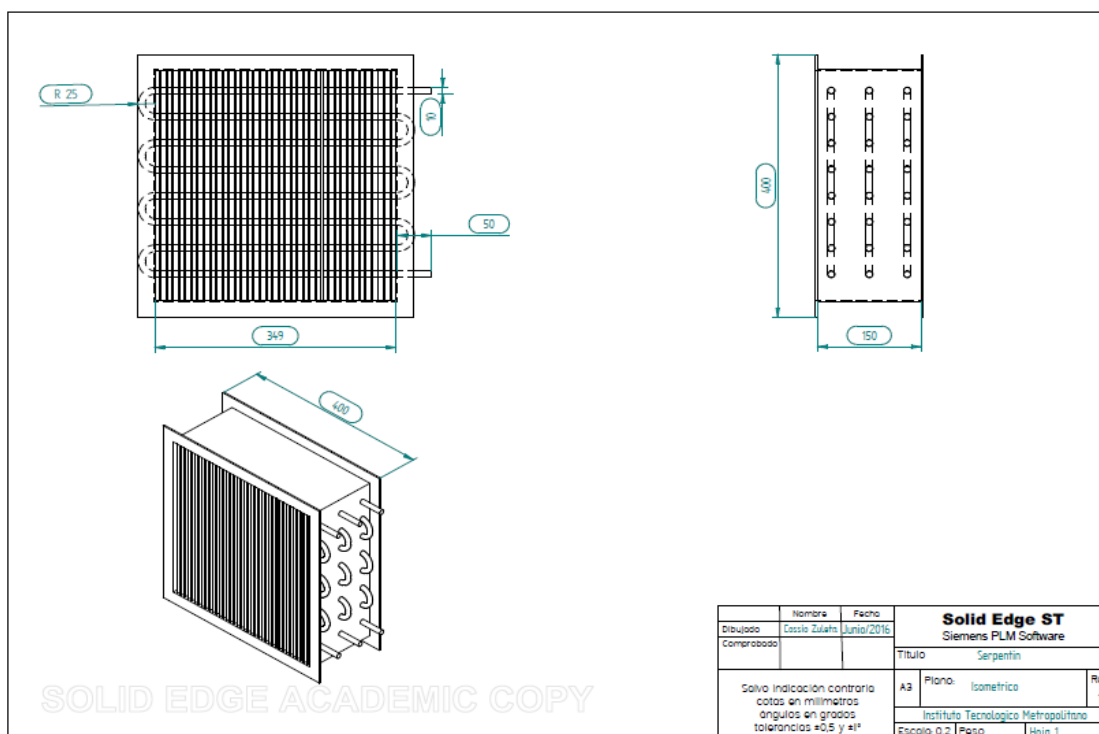
Fuentes: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.6 SERPENTIN:


La función del serpentín es realizar el intercambio de calor sensible y latente del refrigerante y el aire que circula por el ducto, en el evaporador refrigerante en ebullición logra que la superficie del serpentín llegue a condiciones de punto de rocío, condición para que se de la des humidificación del vapor de agua que hay presente en el aire. Una ves sale del evaporador, pasa al condensador donde este le aporta calor sensible para aumentar temperatura e ingresa nuevamente a la tambor para que caliente y deshumidifique el café pergamino

Los serpentines fueron seleccionados por capacidad frigorífica y su tamaño, el modelo que se propone utilizar es el CT-00092 Marca Thermo-Coil, Se realizaron las geometrías de los serpentines evaporador y condensador basado en la ficha técnica del fabricante las dimensiones que se muestran en la plano isométrico 8.



Plano Isométrico 8: Serpentin

Fuentes: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.7 plano estructural del secador rotativo: cómo podemos observar en el plano veremos todas las piezas del secador y como sería el ensamble de todas las piezas sería en la figura 34

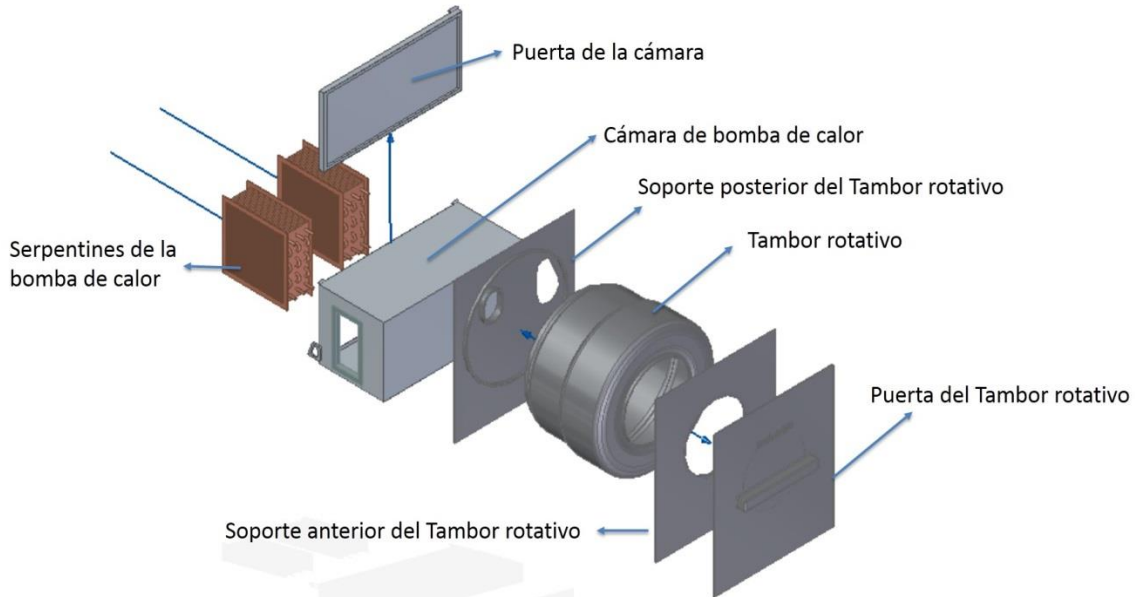


Figura 34 plano estructural
Fuentes: Elaboración propia


4.3 Tarjeta de control de los compresores tipo inverter (inversor) instalado en un aire acondicionado marca Bosch

4.3.1 Partes de la tarjeta

- **Circuito Impreso:** La tarjeta consiste en una placa de fibra de vidrio reforzada con resinas epoxi, y cubierta en los dos lados por una capa de cobre para completar el circuito eléctrico además está constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora.

El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente dispositivos electrónicos a través de las pistas conductoras, y sostenerlos mecánicamente, por medio de la base. Las pistas es generalmente de cobre mientras que la base se fabrica generalmente de resinas de fibra de vidrio reforzado o en algunos casos de cerámica, plástico, teflón o un polímero como la baquelita.

- **Etapas de Suministro:** Se refiere a las terminales por donde recibimos la entrada del voltaje de línea en nuestro caso de corriente alterna de 220 V, comúnmente el cable de suministro se conecta en estas dos terminales, en donde una mínima parte será consumida por la tarjeta de control y el resto se direccionará a los componentes principales como compresores y motores.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

- Etapa de Filtrado:** Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tiene deformaciones en su onda sinusoidal se entiende que la señal se encuentra distorsionada, por tal motivo se instalan filtros pasa bajos, pasa altos, pasa banda y filtros de banda suspendidas, los cuales tienen como función principal eliminar primero las deformaciones de la onda, absorber el ruido eléctrico tanto el generado por el sistema como el ruido eléctrico que viene en la red eléctrica, además tenemos instalados varis torés los cuales proporcionan una protección fiable contra transitorios de alto voltaje que pueden ser producidos, por relámpagos, conmutaciones o ruido eléctrico en líneas de potencia, otra de las funciones de la etapa de filtrado es discriminar una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

- Etapa de protección:** En esta etapa se utiliza los elementos llamados fusibles los cuales tienen la función proteger los componentes de la tarjeta de control y los componentes externos contra sobre corrientes ocurridas aguas abajo de éste.

La protección se realiza mediante la fusión de uno o varios elementos destinados para este efecto, interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa el valor de la corriente de fusión del fusible dentro de un tiempo determinado, normalmente se utiliza fusibles de 1 hasta 15A. En nuestro caso la tarjeta de control exterior como interior posee fusibles de protección.


- Circuito rectificador:** Es el encargado de convertir el voltaje alterno que sale del bobinado secundario del transformador en voltaje de corriente continua por lo tanto a nuestra tarjeta de control le entran 220 V de corriente alterna y en su salida a la alimentación tenemos 12 V de corriente continua.

Esta rectificación se realiza a través de puentes rectificadores o puente de diodos, el cual es un dispositivo formado por cuatro diodos ensamblados de forma que una corriente alterna conectada a dos de los diodos produce una corriente continua de salida en los dos diodos restantes.

- Condensadores:** Nuestra tarjeta de control tiene instalado varios condensadores de tipo electrolítico los cuales tienen la función de almacenamiento temporal de carga eléctrica que será utilizada en el proceso. En la etapa de alimentación de nuestra tarjeta de control utilizan los condensadores para eliminar el rizado remanente de la conversión de corriente alterna en continua realizada por el circuito rectificador.

También son utilizados en nuestra tarjeta de control como filtro de ruido eléctrico que se producen por la conexión o desconexión repentina de la corriente en un circuito inductivo como el de los motores.

- Transformador:** Permite aumentar o disminuir el voltaje en el circuito eléctrico de corriente alterna manteniendo su frecuencia, Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente y la única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Las bobinas que lo forman se denominan primarios y secundario según corresponda a la salida o entrada del sistema, el devanado primario es aquel que presenta más ohmios de resistencia y se alimenta en nuestro caso de 220 V de corriente alterna, el devanado secundario corresponda a una resistencia de pocos ohmios la cual corresponde a una salida de 12 V de corriente alterna.

- **Micro controlador:** Este dispositivo se conoce como el cerebro de la tarjeta. Es como un microcomputador el cual mediante una programación graban instrucciones y criterio que se deben tomar en cuenta para llevar acabo la toma de decisiones.

Este dispositivo requiere de señales de entrada que provienen de otros dispositivos o sensores y al tomar una decisión genera una señal de salida ya sea encendiendo el compresor o el ventilador, este dispositivo básicamente controla las funciones de nuestra bomba de calor.

- **Relay o contactor:** Se utiliza el relay como mecanismo de encendido en su interior este dispositivo tiene una pequeña bobina que al accionarse crea un campo magnético suficientemente fuerte para cerrar los filamentos que permiten la conducción la señal de activación de estas bobinas la genera el micro controlador, en nuestra placa eléctrica tenemos varios relay los cuales tienen como función poner en marcha el compresor y el ventilador de la unidad exterior.

4.3.2 Descripción y operación

Para el funcionamiento del secador de café pergamino con tambor rotatorio utilizando bombas inverter (inversor) se deben tener presente los siguientes equipos:

- Compresor inverter (inversor)
- Evaporador
- Serpentín
- Sensores

Para unir estos equipos como un solo conjunto se requiere de tarjetas de control, en este trabajo se realiza la investigación sobre el funcionamiento del control para su adaptación al sistema de secado de café.

Para lograr que los compresores inverter (inversor) trabajen de manera óptima y se lograr tener un control de la temperatura requerida durante el secado de café pergamino en el tambor rotativo se requiere trabajar con 2 tarjetas de control (Ver figura 33)

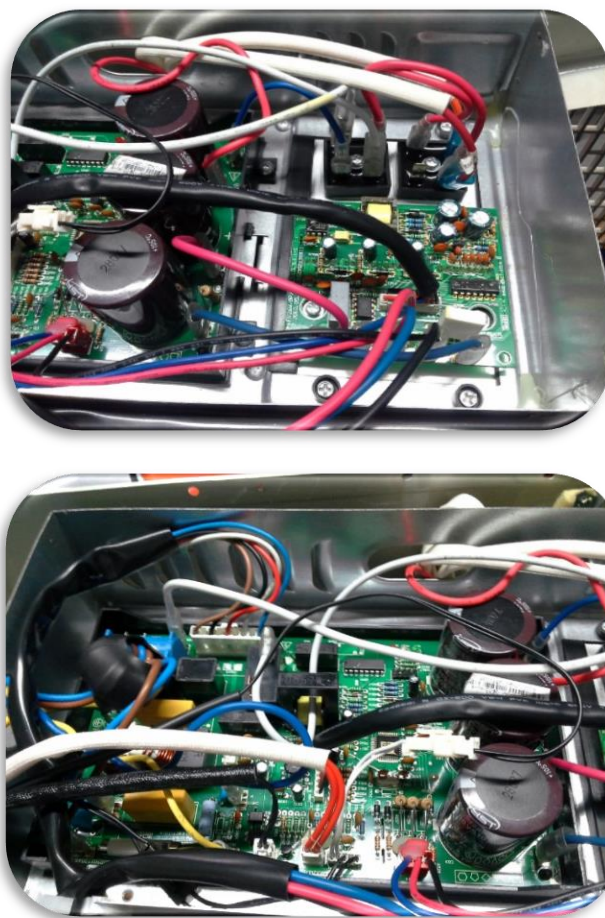



Figura 35: Tarjetas de Control CE-KFR26G/BP2AJYV1
Fuentes: Elaboración propia

Durante el estudio de las tarjetas de control se logramos identificar gracias a una medición de tensión de 80VDC y una frecuencia de 60Hz en el puerto (S) de las tarjetas una comunicación bidireccional entre ellas, esto para poder entrecruzar los datos y así garantizar que los equipos involucrados operen entre los parámetros que se requieran. Por lo que este enlace entre las tarjetas de control se debe mantener y verificar por correcta instalación y operación.

Al continuar verificando los componentes de las tarjetas de control y su operación se identificaron puentes rectificadores los cuales tiene como función convertir corriente alterna en corriente directa entregando un voltaje en CD de 12 V.

En las tarjetas de control se identificaron 2 reactores los cuales tienen como función permitir que la corriente de 50 y 60 Hz fluya fácilmente en el circuito eléctrico pero obstruyendo el flujo de frecuencias más elevadas conocidas como los armónicos protegiendo así el compresor inverter (inversor), pero estos armónicos son devueltos a la red eléctrica reduciendo la calidad de la alimentación eléctrica y produciendo una serie de efectos negativos como sobrecargas en las redes de distribución además de producir vibraciones y envejecimiento prematuro de generadores y transformadores y un aumento

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

del ruido del transformador además envejecimiento prematuro de los condensadores utilizados en la corrección del factor de potencia y esto para la empresa prestadora de servicio es un problema.

Al poner en marcha la tarjeta de control y mediante mediciones pudimos constatar que los sensores de temperatura instalados en el equipo son (Ver Figura 34)

- T1: Temperatura ambiente interior
- T2: Temperatura de las tuberías del intercambiador de calor interno (evaporador)
- T3: Temperatura de las tuberías del intercambiador de calor externo (condensador)
- T4: Temperatura ambiente exterior.




Figura 36: *Sensores de Temperatura*
Fuentes: Elaboración propia

Estos continuamente están en comunicación con las tarjetas de control enviando información sobre las temperaturas presentes en cada instante y de esta manera las tarjetas de control generan las correcciones necesarias para garantizar la temperatura requerida sin generar sobrecalentamientos y logrando una protección adecuado de los equipos.

Durante los estudios realizados a la tarjeta de control y con ayuda del manual del fabricante del aire acondicionado logramos identificar las protecciones programadas en las tarjetas de control logrando una mejor comprensión de su funcionamiento y adaptación a los requerimientos necesarios para realizar el secado de café pergamino.

Temperaturas de funcionamiento y protecciones

- Cuando el sistema se encuentra en operación y se produce un corte, el equipo posee un sistema de protección el cual retarda el reinicio del compresor en un tiempo de 3 minutos para lograr que las presiones se igualen en el sistema y evitar que el motor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

del compresor se queme debido al exceso de presión que se acumula a la salida de este.

- Si durante el funcionamiento la temperatura en la parte superior del compresor alcanza más de 115°C el protector de sobrecarga se dispara y el compresor deja de operar lo que requiere una espera de 3 minutos para que el compresor reinicie su funcionamiento después de que el protector de sobrecarga se ha cerrado.
- La tarjeta de control monitorea el ventilador exterior el cual debe operar a los 10 segundos de haber encendido el equipo esto para permitir la apertura de la persiana.
- La tarjeta de control y el equipo cuenta con una función de precalentamiento del compresor antes de entrar operación la cual consiste en un suministro de corriente a través de las bobinas del compresor, pero esta función es activada solo cuando la temperatura exterior (T_4) es menor a 3°C y está conectado a una nueva fuente de alimentación o el compresor a estado parado por más de 3 horas (TGM, 2012) pero cuando la temperatura T_4 es mayor a 5°C o la maquina es encendida la función de precalentamiento deja de funcionar.
- La tarjeta de control protege el módulo inverter (inversor) por sobre voltajes, corrientes y temperatura, en el caso de presentarse alguno de estos problemas el módulo de control inverter (inversor) codifica la falla y la refleja en una unidad LED la cual está conectada a la tarjeta a través del conector 10 (CN10), (Ver figura 35) además la potencia eléctrica se interrumpirá y se requerirá nuevamente de 3 minutos para poder realizar un reinicio del sistema.

WIRING DIAGRAM
(INDOOR UNIT)

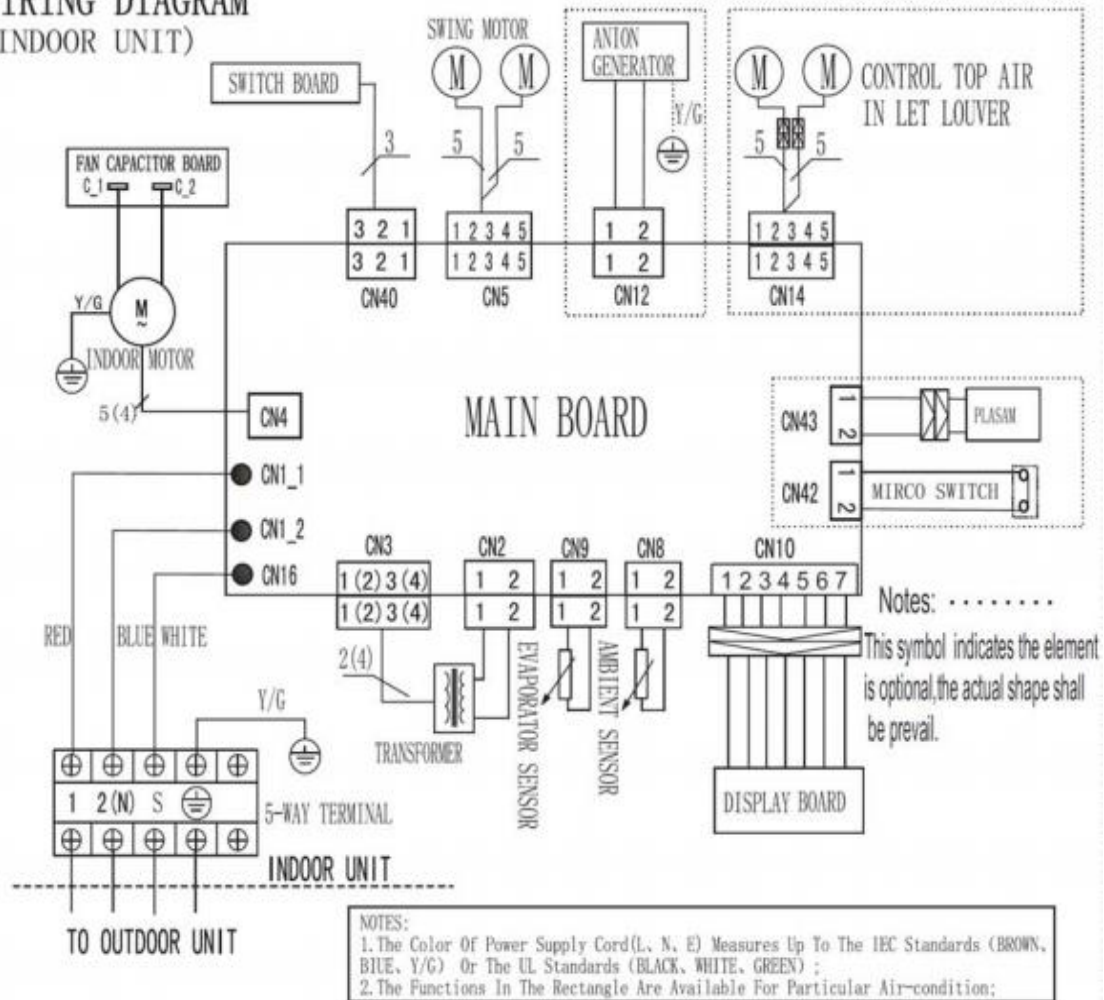


Figura 37: Diagrama Eléctrico Tarjeta de Control Interior
Fuentes: (TGM, 2012)

- La tarjeta de control recibe señal de sensores de temperatura adicionales entre ellos el instalado en la salida del compresor y entra en la tarjeta de control por el conector 15 (CN15) (ver figura 36) el cual al llegar a una temperatura de 115°C por más de 5 segundos detiene su operación y no reinicia hasta que la temperatura desciende a un valor inferior de 90°C.

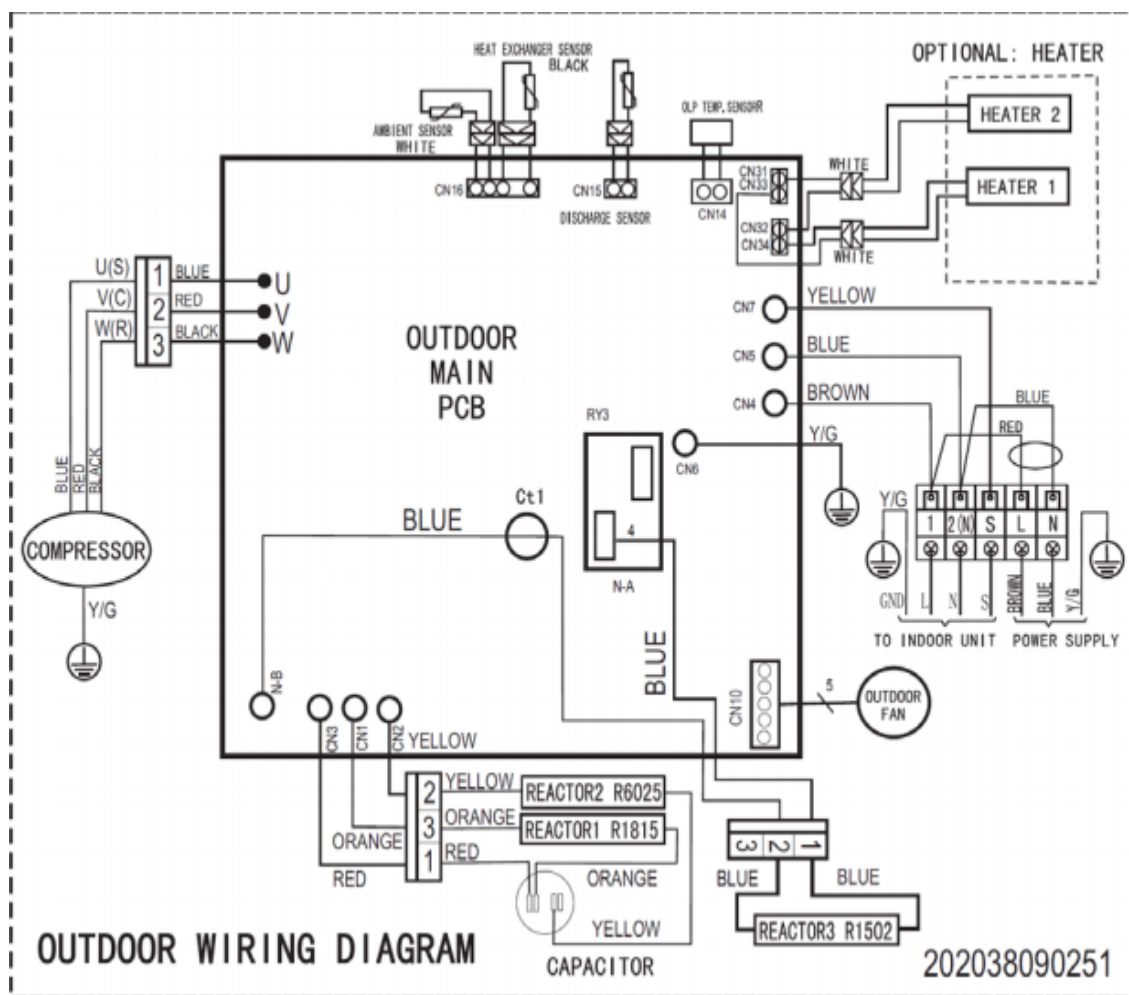



Figura 38: Diagrama Eléctrico Tarjeta de Control Exterior
Fuentes: (TGM, 2012)

La tarjeta de control del aire acondicionado con el que se está trabajando tiene programada varios modos de operación y su utilización de penden de las necesidades requeridas.

- Modo ventilador
- Modo enfriamiento
- Modo Secado
- Modo Calentamiento

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para nuestro caso nos interesa la operación del aire acondicionado en el modo de calentamiento debido a que con este modo se alcanzan temperaturas más altas y es el método con el cual se van a realizar las pruebas de secado de café pergamino, por lo tanto se analizaron las siguientes protecciones.


- Si la temperatura en el sensor del evaporador o T_2 es mayor a 60°C el compresor se detendrá y no reanudará su operación hasta que esta temperatura este por debajo de 48°C .

Para proteger el equipo y evitar bajos rendimiento la tarjeta de control tiene programada una protección por congelación del condensador, cuando el sensor de temperatura ambiente exterior o T_4 es mayor a 0°C , y los equipos están funcionando deben cumplirse algunas de las siguientes condiciones para iniciar la protección por congelación.

- La temperatura en el sensor del condensador o T_3 sea menor a 3°C durante 40 minutos y T_3 mantiene inferior a -6°C durante más de 3 minutos
- La temperatura en el sensor del condensador o T_3 sea menor a 3°C durante 80 minutos y T_3 mantiene inferior a -4°C durante más de 3 minutos.


La protección por congelación termina y la maquina puede iniciar su funcionamiento normal en el modo de calentamiento cuando se cumplen las siguientes condiciones

- La temperatura en el condensador (T_3) aumenta por encima de 12°C .
- La temperatura en el condensador es superior a 8°C y se mantiene durante 80 segundos.
- Después de la máquina estar en el modo de descongelación por un periodo de 10 minutos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	


5 CONCLUSIONES

- Es evidente que la adaptación de nuevas tecnologías en la industria cafetera del país que ayuden a la reducción de costos de producción generaran importantes mejoras económicas a los caficultores logrando un aumento en el ingreso de los productores que hoy reclaman con exigencias en el precio de comercialización y además se verá mejorado las pérdidas que se presentan durante toda la cadena de producción.
- Es importante reducir el impacto ecológico que se está produciendo con los métodos actuales utilizados para el proceso de secado del café en nuestra región, el secado por los métodos alternativos descritos en este proyecto son la muestra de cómo se puede lograr esta reducción, pero este tipo de secado requiere grandes inversiones económicas y de tecnologías que son de difícil consecución en el mercado Colombiano actual.
- Las ventajas ambientales que se logran con la adaptación de esta nueva tecnología más económica en el proceso de secado permitirá el fortalecimiento de la imagen del producto Lográndose con esto un impacto positivo en la producción y comercialización del grano como un café limpio además de que contribuye a el mejoramiento de la calidad de vida en las regiones cafeteras y sus zonas aledañas.
- A pesar de la factibilidad del proyecto y su alta rentabilidad teórica se hace necesario la demostración tangible de los beneficios reales de utilizar este sistema de secado por tal motivo se requieren hacer pruebas en laboratorio y en campo demostrándole a los caficultores el beneficio de esta nueva tecnología.
- El departamento de Antioquia y gran parte del territorio colombiano presentan condiciones para las aplicaciones de este proyecto debido a la vocación por el cultivo, a la especializada mano de obra y a la alta dependencia de la economía regional por las actividades asociadas al grano, además del interés de los caficultores por este tipo de tecnología que presentaría una reducción en el costo de producción y ganancias en la comercialización y venta.
- Se determinó que las temperaturas es una parte fundamental en este secador porque la tarjeta recibe la información de los sensores y generan las correcciones respectivas al instante sin necesidad de mantener los equipos en su máximo funcionamiento.
- Se concluyó el diseño y la adaptación de la tarjeta de control del prototipo de secado de café pergamino con tambor rotativo y compresor inverter (inversor) tanto en la parte mecánica como eléctrica no obstante se requiere realizar pruebas con el prototipo ensamblado para realizar las correcciones requeridas y su puesta a punto final.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

6 REFERENCIAS

- Speciality Coffee Association of America . (2010). *Bean defects and grading*. SCAA.
- Asociacion Nacional del Cafe. (2009). *Anacafe*. Obtenido de www.anacafe.org
- Belgo Mineira Bekaer. (1997). *Manual de construção de terreiro suspensos para sacagem de cafe*. Santa Bárbara.
- Bermudez, O. B. (2008). Implementacion del secado mecanico del cafe en carros secadores. *ingenieria e investigacion*.
- Bermudez, R. I., & Sanchez, E. A. (2005). *Diseño y contruccion de un silo secador de granos de cafe con la utilizacion de un quemador dual de combustible*. trabajo de grado ingeniero mecanico , Universidad Industrial de Santander, bucaramanga.
- Bispo, W. R., & Sozzo, B. A. (2014). Estudio e desenvolvimiento de terreiro suspenso. *Tecnologia e Ciência do SENAI*.
- Cafeteros, F. N. (2010). *cafe de colombia*. Obtenido de una bonita historia : www.cafedecolombia.com
- Chicaiza Rivera Manuel Enrique. (2007). Diseño de un secador de Arroz con intercambiador de calor para una piladora. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnico del Litoral.
- Coffee of Colombia. (2010). *Green Coffee Defects*. Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/clientes/en/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/
- Cruz, D., León, E. L., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). Technical guide construction and operation of dome type solar dryers. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 125-138.
- Dalpasquale, V. A., Pereira, D. A., & Sinicio, R. (1991). Secado de Granos a Altas Temperaturas. Obtenido de www.fao.org
- Diamond, TK, B., & FG, F. (2000). Ibuprofen plus caffeine in the treatment of tension-type headache. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 312-319.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Diaz, W. H., Campos, F. H., Galarza, Z. V., & RodriguezJimene, G. (2013). *COFFEE GRAIN ROTARY DRYING OPTIMIZATION*. Veracruz : Instituto Tecnológico de Zacatepec.

ORGANIZACION Latinoamericana de Energía OLADE. Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas Quito, 1993. Tomada de la pagina
<https://energiaeficiente.wordpress.com/2009/10/23/como-funcionan-las-centrales-termicas/>

Federacion Nacional de Cafeteros. (junio de 2013). *Cafe de Colombia*. Obtenido de www.cafedecolombia.com

Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia. (2013). *Manual del Cafetero Colombiano*. Fontal, E. M. (2006). secado de cafe en lecho fluidizado . *ingenieria e investigacion* .

Franco Rafael. (2009). *Coffee and mental health*. Barcelona España: Universidad de Barcelona.

Fudholi, A., KamaruzzamanSopian, B.Bakhtyar, & MohamedGabbasa. (2015). Review of solar drying systems with air based solar collectors. *RenewableandSustainableEnergyReviews*, 1191–1204.

Gutierrez, F. (2011). Desarrollo de un secador mecanico de cafe con empleo de carbon carburante obtenido del proceso de beneficio humedo. *Cenicafe*, 44.

Gutierrez, J. M., & Copete, E. T. (2009). hacia la mejora del secado mecanico del cafe en colombia. *tecnologicas*, 113-132.

Joan Lindsay, D. L. (2002). Risk Factors for Alzheimer's Disease: A Prospective Analysis from the Canadian. *American Journal of Epidemiology*, 445-453.


José Luis Patiño Sienna. (18 de Mayo de 2004). Estudio experimental de las hidrodinámicas de un lecho fluidizado al vacío empleando vapor sobrecalentado. Cholula, Puebla, Mexico: Universidad de las Americas.

Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., & Yu, B. (2015). Coffee fermentation and flavor. *Food Chemistry*, 182-191.

Leibovich, J. (2010). efectos de la adopcion de practicas sostenibles en la produccion de cafe en colombia. *Seminario internacional sobre Cafe sostenible* (págs. 57-60). Bogota: Graficas Colorama S.A.

Lopez, S. M. (2008). Secador Parabolico Mejorado. *Avances Tecnicos Cenicafe*.

López, S. M. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energia en el secado mecanico del cafe . *Avances Tecnicos Cenicafe*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Lopez, S. M., Pulgarin, J. A., Montoya, E., & Oliveros, C. (2003). *Cambios Fisicos y Quimicos durante la Maduracion del Fruto* . Caldas.

Mckenzie, B. A., & Foster, G. H. (2000). *Dryeration & Bin Cooling Systems For Grain*. West Lafayette: Purdue University.

Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., & Meye, L. (2007). Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*.

Ortunoa, M. S., Moore, N., & Taillard, J. (2004). Sleep duration and caffeine consumption in a French. *Sleep Medicine* , 247-251.

Ospina, H. F. (2006). Secador Solar de Tunel Cafe Pergamino. *Avances Tecnicos Cenicafe*.

Ospina, J. E., Mejia, F. A., & Mejia, G. R. (1991). *Evaluacion de un secador intermitentede flujo concurrente (IFC) para cafe* . medellin: universidad Nacional .

Pagano, R., Negri, E., & Decarli, A. (2011). Coffee Drinking and Prevalence of BronchialAsthma . *American Collage Of Chest* , 386-390.

Palini & Alves Ltda. (2010). SECADOR ROTATIVO PARA CAFÉ E OUTROS GRÃOS. PA-SR.

Peris, E. N., Corberan, J. M., & Ancik, Z. (2015). Evaluation of the potential recovery of compressor heat losses to enhance the efficiency of refrigeration systems by means of thermoelectric generation. *Applied Thermal Engineering*, 755-762.

Rivas, P. (2015). bombas de calor inverter. sistema VRV. *Instalaciones y Eficiencia Energetica*.


Robert Coffey. (2013). Grading. *Hawaii Coffee Association Conference* (pág. 62). Maui: Hawaii Department of Agriculture.

Salisbury, R. J., Stack, R., & Sassos, M. (s.f.). Lubrication and seal oil system . *Thirteenth Turbomachinery Symposium* (págs. 151-173). Jeannette Pennsylvania: Service enginner.

Schwartz, J., & Weiss, S. T. (1992). Annals of Epidemiology. En *Caffeine Intake and Asthma Symptoms* (págs. 627-635). Washington, DC, USA: Harvard Medical School.

Sousa, J. d., & Roberto, C. D. (2010). New Technologies for the Drying of Coffee. *Hygienic Coffee Drying*, 1-17.

Standards Bureau of Agriculture and Fisheries Producto. (2012). Green Coffee Beans – Specifications. *Philippine National Standard*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Susatama, L. C. (2014). *Construcción de una planta piloto para*. tesis maestria ingenieria agricola , Universidad Nacional de Colombia .

XM es la filial de ISA especializada en la Gestión de Sistemas de Tiempo Real. Informe de operaciones del SIN y administración del Mercado XM S.A E.S.P 2015 Medellín Colombia tomada de la página <http://www.xm.com.co/>.