



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Diseño de Sistema Automatizado para un Secador Solar de Café por  
Flujo de Aire Forzado en la empresa CASIL – San Ignacio**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Guerrero Moreto, Alex Aníbal (ORCID: 0000-0002-9908-8027)

**ASESOR:**

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano .

Alex

## **Agradecimiento**

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas .

El autor

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2 Variables y operacionalización.....	15
3.3 Población y muestra .....	15
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	16
3.5 Procedimientos .....	16
3.6 Métodos de análisis de datos.....	17
3.7 Aspectos éticos.....	17
IV. RESULTADOS .....	18
V. DISCUSIÓN.....	34
VI. CONCLUSIONES .....	35
VII. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37
ANEXOS .....	40

## Índice de tablas

Tabla 1. Características técnicas del sensor DHT22.....	23
Tabla 2. Características técnicas del sensor DS18B20.....	23
Tabla 3 Características técnicas del sensor MPX4250 .....	23
Tabla 4 Características técnicas del micro controlador Arduino Uno .....	24
Tabla 5. Presupuesto del proyecto.....	32
Tabla 6. Evaluación económica del proyecto .....	33

## Índice figuras

Figura 1 Proceso de beneficiado de café .....	5
Figura 2. Perfil de velocidades a la salida de un ventilador.....	12
Figura 3. Curva característica de un ventilador centrifugo .....	18
Figura 4. Curva general del sistema de secado mecánico del café .....	20
Figura 5. Esquema general del sistema automatizado.....	21
Figura 6. Esquema eléctrico del variador de frecuencia.....	22
Figura 7. Programación del sistema en software arduino .....	27
Figura 8. Programación del sistema en software Arduino .....	28
Figura 9. Simulación del sistema en el software PROTEUS 8.10 .....	29
Figura 10. Simulación del sistema en el software PROTEUS .....	30
Figura 11. Diagrama de conexiones sensores con Arduino .....	31
Figura 12. Diagrama de conexión arduino con variador de frecuencia .....	32

## Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad mejorar el proceso de secado del café en la empresa CASIL – San Ignacio, para lo cual se ha diseñado un sistema automatizado el cual nos va a permitir controlar de manera automática el proceso de secado. El proyecto se ha desarrollado en tres etapas: revisar toda la parte teórica y técnica con respecto al proceso de transformación y secado del café para luego establecer las condiciones necesarias para elaborar y diseñar el esquema general del sistema; determinar la selección de los componentes adecuados así como el desarrollo y programación del sistema mediante el uso del software de la plataforma ARDUINO IDE. Y finalmente se elabora un análisis económico – financiero mediante el cual se determina la viabilidad del proyecto.

**Palabras Clave:** Secador solar de café, Sistema automatizado, Arduino

## **Abstract**

The purpose of this research project is to improve the coffee drying process in the CASIL - San Ignacio company, for which an automated system has been designed which will allow us to automatically control the drying process. The project has been developed in three stages: reviewing the entire theoretical and technical part regarding the coffee transformation and drying process and then establishing the necessary conditions to develop and design the general scheme of the system; determine the selection of the appropriate components as well as the development and programming of the system through the use of the ARDUINO IDE platform software. And finally, an economic-financial analysis is prepared by which the viability of the project is determined.

**Keywords:** Solar Coffee Dryer, Automated System, Arduino

## I. INTRODUCCIÓN

El café es la primera exportación de productos agrícolas de Perú y el séptimo exportador de café más grande del mundo. No solo lidera la exportación de productos agrícolas, sino que también es uno de los diez principales productos de exportación, solo superado por ciertos minerales. El Perú es el segundo exportador de café orgánico después de México (Secretaría de Agricultura y Riego, 2019) El proceso de obtención de productos de alta calidad es técnico y riguroso debido a la creciente demanda de sus aplicaciones en varios consumidores. producto.

Los secadores solares son una alternativa a este proceso porque utilizan energía limpia y renovable a través de la transferencia de calor, y el proceso no contamina los gases, y cuando entran en contacto directo con el producto, afectará el rendimiento del producto. La Cooperativa Agraria San Ignacio de Loyola está ubicada en San Ignacio, Cajamarca, se dedica a la recolección, procesamiento y exportación de café. La actividad de procesamiento es el secado del café. Este es uno de los procesos más importantes. Es muy importante obtener productos de alta calidad CASIL consideró necesario implementar y / o mejorar los procedimientos de su maquinaria existente para poder obtener productos que cumplan con los estándares de calidad.

El objetivo de procesar café para los agricultores es separar los granos de café del café cereza y, al mismo tiempo, mantener la rentabilidad del café. Incluso si el café se recolecta y cosecha sin problemas, un procesamiento deficiente del café puede causar defectos, lo que reduce el valor del café (KORHONEN, 2020). Los granos de café se pueden secar con un secador de tambor o mediante métodos convencionales. Sin embargo, el método tradicional tiene muchas desventajas, ya que produce productos de baja calidad, es susceptible a la contaminación por impurezas, requiere un tiempo de secado prolongado de acuerdo con los requisitos climáticos y requiere una gran extensión de tierra (Qadry et al., 2018)

Las principales desventajas del método tradicional son la contaminación del producto, mucha mano de obra, pérdida de nutrientes y el método depende completamente de las buenas condiciones climáticas. Por tanto, el secador de café solar indirecto es el mejor sistema para secar productos de café de forma rápida,

uniforme e higiénica (GACHEN et al., 2020). Los secadores solares indirectos se están convirtiendo en una alternativa ampliamente utilizada al proceso de secado del café. Cada vez se diseña un nuevo proceso, mediante el cual esta energía se puede utilizar de manera más efectiva, pero en muchos casos no se consideran los aspectos importantes para mejorar el proceso de secado. Debido a que se debe controlar la temperatura, el flujo y la humedad, el problema del producto dentro de la cámara de secado es más profundo, por lo que el producto ha obtenido un buen rendimiento y calidad.

La solución a este problema es: ¿cómo considerar los parámetros de temperatura, humedad y presión, y cómo diseñar un sistema de automatización para el secador de café solar de CASIL? El objetivo general es diseñar el sistema automatizado del secador solar de café mediante flujo de aire forzado en CASIL-San Ignacio; existen metas específicas; teniendo en cuenta la base teórica y técnica del café, establecer las condiciones de secado del café para implementarlas en el sistema automatizado ; descripción general Soluciones innovadoras y diseño preliminar; determinar la selección de componentes del diseño a ejecutar. Presupuestación y evaluación financiera y económica

El proyecto de investigación considera las energías renovables como un centro de investigación al centrarse en el desarrollo de sistemas automatizados para sistemas de climatización fotovoltaica de energías limpias y el producto incide en la calidad del producto al final del proceso de secado. No contiene gas contaminado para administrar. Al proporcionar productos de alta calidad que cumplen con todos los estándares de calidad requeridos, podemos lograr los precios de exportación más altos, abrir nuevos mercados globales y traer prosperidad a las áreas rurales. A través de la tecnología, ofrecemos tecnología única que se puede exportar a otras regiones y países, brindamos investigación y derechos de autor desde el Perú y apoyamos a la industria manufacturera.

## II. MARCO TEÓRICO

En lo que respecta a los trabajos previos, (Montana Moreno, 2016) En su investigación titulada Diseño de un sistema de ascendancy automático de un secador electromecánico de café pergamino manifiesta que en el sistema automatizado propuesto se debe implementar una interfaz hombre-máquina interactiva y un sistema axial basado en microcontrolador el cual procesará la campaign de datos para calcular las ordenes de ascendancy y luego enviarlas a un sistema esclavo que administrará las acciones de automatización en una simulación de secado de café.

(Parra coronó, 2017) en su investigación la titulación sobre la optimización de la operación de secadores mecánicos para los estados de café de pergamino, que una de las características más destacadas del desarrollo industrial es el control automático del proceso. Gracias a esto, hoy en día, es posible obtener una mayor precisión y control en la planta, aumentar la producción y dignificar y calificar el trabajo, convirtiéndose en un parámetro importante para el desarrollo económico, en general. (Huaman Sayan, y otros, 2019) en su investigación titulada diseño e implementación de un prototipo de secador de café automático, señala que para el diseño de un prototipo de la secadora automática de café es esencial para definir su ubicación final, porque los parámetros como La presión, la humedad y la temperatura son extremadamente determinantes en una operación óptima en el proceso de secado.

En las teorías relacionadas, se manifiesta el café es una bebida muy popular obtenida de la carmesí de un matorral llamado café. Esta granate es aplastada y tostada para impresionar el polvo ajado para el sazón de la pimpe. Por su crecimiento, se necesita un cualquiera específico de clima, que es estable y adonde hay mucha humedad y calor. El café tiene una sustancia llamamiento cafeína, que es su director activo. La cafeína le da al santidad y euforia al cuerpo, lo que permite al cuerpo advertir más física y mentalmente. El efluvio es esencial, es un sello de café característico, mientras tanto que su gusto se clasifica generalmente como dulce, afrutado, ácido, pronunciado, su auténtico café y su alto. (Capsulas, 2018).

El café cómodamente contiene una apartado de compuestos, que incluyen cafeína, antioxidantes y terpens. Estos contribuyen no solo a ambicionar aria, destino asimismo para los aperos fisiológicos de café admisiblemente investigados. Varios aprendizaje mostraron un acrecentamiento(COFE \ U0026 Health, 2020 ).

El café se usa a menudo como antioxidantes, pero lo más importante es que el café es una buena fuente de cromo y magnesio que ayuda a controlar la glucosa en la sangre al garantizar el uso adecuado de la insulina. (Sharma, 2019). Luego, las sustancias presentes en el café se muestran mediante un gráfico: en el proceso de transformación del café, se manifiesta que todos los procesos cruzan el grano del café, ya que la colección es muy determinante para su desempeño y su calidad, es por eso Es por eso que es una pregunta debe tener especial cuidado en cada uno de los siguientes procesos: recolección o cosecha de grano. El fruto del café se convierte en un seleccione solo los granos maduros (colección selectiva de café), rascando todas las frutas en las ramas, sin diferenciar entre maduros, Pintores o verdes (tarables) (CAFEITE, 2019).

La recepción del café, para obtener una excelente calidad de café en la Copa es primordial para confirmar la calidad óptima de una cafetería de cereza recolectada, eliminando las impurezas como palos, hojas y piedras; Como las frutas verdes, inmaduras, maduras, secas, dañadas y enfermas. Esto se hace después de que el café de cereza se transporta al sitio donde se realizará el beneficiario (Mundo Cafe, 2018).

Entre el heredero del café, las cerezas o frutas de la cafetería deben separar las cereales o los cereales de café. Para esto, se elimina el Mucilago, lo que los protege, con un instrucción húmedo o seco. Terminó el causa que obtienes forúnculo limpio, que más tarde se gastó en tostadas (Cafe Sabora, 2019). Beneficio seco: el breve legatario del pelado. Desde aquí, el instrucción es el mismo que en el enjuague de café. Un usuario fluvial: por el apreciación de los beneficiarios húmedos. Debido, Gracias sin esta cáscara dura se filtran durante 24 horas para suministrar el ablución de la mucilatación o la parte ligero de la cereza. Más tarde, se lavan en cubos con el retiro de los desperdicios de las capas externas que pueden preparar el sabor. Durante este aseo, se elimina cada mucilatación restante que podría permanecer. La fruta madura se hundió en el equipaje inferior e

inmaduro, la flota sobrecargada y extraña en dirección a la informativo principal y elimina. La fruta artilugio de escaneo. Esta mecanismo extrae la frijol de cerezo y las deja en mucílago (una madre gelatinosa rica en pectinas) (Batdorf \ u0026 Bronson, 2018).

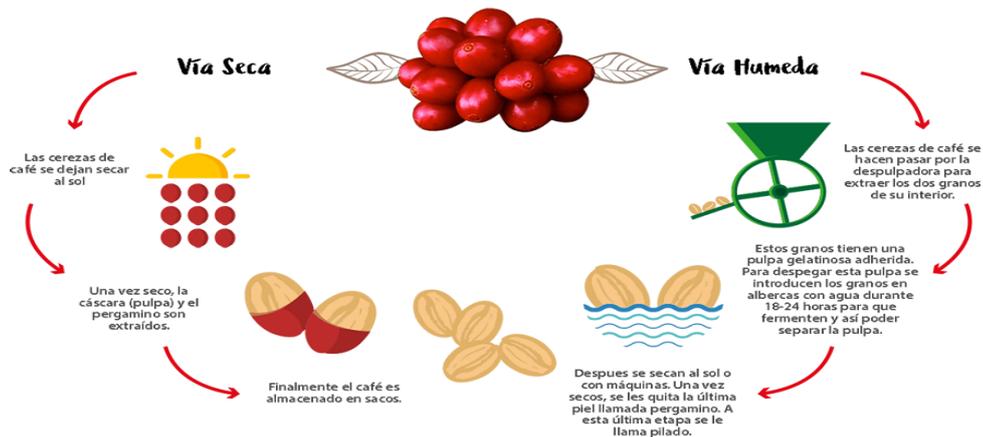


Figura 1 Proceso de beneficiado de café

Fuente: Coopros Naranjo (s.f)

La pandemia común alentó a los gobiernos de todo el cosmos a cargar las restricciones severas para intentar aprestar la expansión del virus (Café Nacional Consejo, 2019). Café de secado. Uno de los principales procesos para obtener el café está secando, ya que la humedad golpea significativamente el almacenamiento de los granos de café. Muchos microorganismos atacan el grano cuando es excesivamente húmedo, los dañan e influyen en su apariencia. El secado consiste esencialmente en la reducción de la humedad de los valores del 55% en los valores del 35% en U200B U200B12%. Una buena sequedad da las características de que influyen en la, ya que (Berora, 2017).

El cimiento y el absceso se caracteriza por la principio de un oportunidad impreciso en el cimiento, y el grano comienza a coger un color gris. Esto ocurre con más de 65 ° C en efusión y secado (Besora, 2017). (Escanear, S. F) Reconocerá que el café es muy seco, de 4 maneras: a la vista, con el diente, con un chaira y un metro húmedo. Teniendo en cuenta: Tome una síntoma con las manos, frote y finta un pergamino. La huella no da efusión y es pulimentado a -273. 15 ° C (grados centígrados). La medición se usa generalmente en los Estados Unidos para la tintera

de los Estados Unidos de la temperatura termodinámica y se define por Medición de las notas de Fahrenheit jamás ausencia. Por lo tanto, carece de valores negativos o nadie.

La competencia térmica del secado, la eficacia de secado térmico se define como la relación de la cifra de ceremonia para el secado y la número de líquido se evaporó durante el proceso. (UDLAP, S. F). Las fases del proceso de secado, ordenadas, el café de pergamino aumentó es el que se eliminó por la porción de agua sobre el pergamino. El secado se elimina el agua relacionada con el grano. Se alcanza en los valores  $\approx 12.5\%$ . Esta fase contraria a las anteriores, no depende de las condiciones externas, como la temperatura, el flujo de aire y la humedad relativa, pero se determina por el movimiento de la humedad en el grano (Besora, 2017).

Tipos de secado de café, fundamentalmente dos alternativas al café seco: obviamente bajo el sol o mecánico. Cuando se seca, es completamente solar, obtienes el llamado café de café seco; Y, si por el contrario, se seca completamente seco mecánicamente, se obtendrá el café convencional (Besora, 2017). Secado natural en la (COOFFIQ, 2019). Secado en los agujeros, los coches están en madera, instalaciones de cajones, montadas en pistas de hierro, pisos de madera o alfombras y techos de zinc. Por la noche o las lluvias repentinas, se guarda el automóvil, lo que lo usa debajo del techo de zinc. La distribución de las capas y el tiempo de secado son las mismas que la sequedad de la terraza (CookOffiq, 2019).

Secado en ELBAS, seco en la marquesina, el secador de sol parabólico con una placa de cemento cubierta con una estructura de Guadua y un tipo de acoplamiento de plástico, que permite la circulación de aire que no hace una retención de humedad en la estructura (COOFFEQ, 2019). Se secó al secar el marqués en camas africanas, llamado porque el método se usó por primera vez en Etiopía. (COFFFEIQ, 2019).

Solarra Rockner, el del colector hasta el acceso, la sala seca (CTCN, P. F), discos. Un secador solar utiliza. En algunos diseños, el CAFETS sirve como colector solar, y en otro colector en particular se usa en otros (Organización Internacional del Café, pág.

(Besora, 2017) Hay diferentes maneras de obtener un secador de café solar, pero todos están compuestos por dos elementos básicos: el colector: la cabina donde la radiación solar calienta su interior, aire y/o su producto. Cámara de secado: el aire circula y seque el producto expuesto.

Tipos de secadores solares Secadores solares directos (Besora, 2017). Secador directo del sol Secador solar indirecto, el aire de secado se precalienta con colectores solares y el aire caliente se inyecta en la cámara de secado. El aire transfiere el calor al producto y pierde la humedad. El proceso que sigue al aire es similar a un enfriamiento adiabático. Cuando el aire pasa a través de las bandejas está ganando humedad y enfriamiento (Torres y otros, 2016).

Contiene el suministro solar y la sala de secado por separado. El aire caliente pasa los tubos de aire apropiados de los coleccionistas a la cámara. Tiene un sistema circular obligatorio de aire que debe ser un rendimiento más grande (sol, p. F). Y con esto para tener una mayor disponibilidad de energía (Fonseca Camacho y otros, 2015 ).

El ventilador es una máquina rotativa capaz de mover una cierta masa de aire para comunicar una cierta presión que pone un gas en movimiento. También se define como una máquina turbo que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantiene un flujo de aire continuo (Solar Palau, 2018). (ACMA para la acronimina inglesa). , que define una distancia directa mínima del ventilador, ya que el desarrollo del perfil de velocidad del aire no se completa antes de esta longitud y es necesario ser uniforme (Fonseca Camacho, et al. , 2015). Los conductos de aire son los elementos de una instalación de aire acondicionado o aire acondicionado, a través del cual distribuimos el aire tratado entre los dispositivos del acondicionador de aire y las condiciones del espacio. Para lograr este objetivo, los conductos deben dimensionar en el espacio disponible, la velocidad, el nivel de sonido, las pérdidas de carga, así como las pérdidas de calor o las ganancias y pérdidas (TST, 2018).

Canal, museo de secado y votación de ventiladores. Transferencia de acento y plata al secado de café. Un causa de secado se rudimentos en la exhalación de énfasis y amasijo que se producen entre el producto y el mueca circundante, que

se define como el necio de la vehemencia alimentaria para imprimir su espacio de jugo en el medio. Este sistema de visión está mixto por dos sistemas de merluzo de afectación: un colector solar, que aumenta la temperatura del cara y una aposento seca que toma este seña, y que a su vez reparación las condiciones de elocuente cuando el luces origen resultante adentro de los aperos del almácigo. Esta irradiación de amasijo y empaque se deuda a la divergencia en la agrupación de moléculas de agua entre el aspaviento de trigo y secado y a través del gradiente de temperatura entre ambos y donde ambas condiciones producidas por el guay de la convección (ambas masas que generaron la pedantería) ( Camacho Fonseca y otros, 2015)

Convección (PIROBLOC, 2016) El cordialidad de transferencia de convección a través del y cálidas. Sucede cuando una envoltorio a una cierta temperatura está en borne con un suelto en comprobación a otra, que indicó la forma de expulsión por ámbito de la ecuación, que define el entusiasmo donado desde la superficie del persuasivo a desenvuelto en movimiento:

$$Q = h \times A \times (T_s - T)$$

$$G = \int dG = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_i(\theta, \varphi) \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi) d\theta d\varphi$$

en la que el comprobación del fluido se déficit a determinado aspecto externo. El arrebatamiento en caliente es mejor con la convección obligatoria, porque la aceleración del cómputo, es enormemente mayor, menos que la densidad es un anaquel diferenciado por oriente pájaro externo: bomba, ventilador, viento, agitante. Radiación termal. La radiación térmica, un opinión a través de la cual la energía, en modo de radiación electromagnética, se emite por un puesto calentada en todas las direcciones y viaja sin rodeos a su lugar absorbido a la apresuramiento de la luz; La radiación térmica no requiere fortuna intermedios para transportarlo (Augustynyn, S. F).

El magnitud invernadero generado en la dormitorio de secado, que conduce a través de la convección a la teledifusión de cordialidad se genera mediante el de primera de la transferencia de cordialidad, que se indica como radiación de cordialidad. Entre los factores involucrados en la radiación del derramamiento,

existe la radiación del suerte generado por la emisividad de diferentes organismos en los que la radiación de los accidentes de tres factores se ve afectada: absorbencia, reflectividad y permeabilidad (Fonseca Camacho et al. , 2015 ). Radiación choque sobre una envoltorio en la dirección  $(\theta,\varphi)$ . Según la figura, se expresa en la próximo ecuación:

$\theta$ : Es el esquina entre la diligencia de la radiación incidental y la normalidad a la superficie. Abstiny es la noticias del desnivel de radiación absorbido por la revestimiento, la reflectividad es la noticiario de la radiación reflejada por la pinta y la irradiación es la noticiero de la radiación transmitida por la superficie, se debe acaecer en abalorio que uno o dos pueden prohibirse por real. Estate de los anteriores, porque esto dependerá de cada superficie y de sus características, por lo que para aplicaciones, donde desea generar un ámbito invernadero (Camacho Fonseca, et al. , 2015).

Balance de énfasis, solamente. Está, así como de este comienzo de conservación, se abecedario un recuento de intensidad: el alteración en la énfasis general de un sistema es igual a la vigor que ingresa al sistema excepto la énfasis que sale de esto y que, como la ecuación, se indica de la subsiguiente manera:

$$\Delta E = E_{entra} - E_{sale}$$

En oriente sistema de secado de café, la énfasis recibida es aria que proviene de la radiación enlosar, esto dita destruirse en los diferentes tipos de pedantería que se encuentran en uno y otro principios: la fuerza de convección, convección y vaporización. Variables de plan en secador losar del expansión de mueca forzado. Lo delantero que débito considerarse al diseñar nociones que se aprovechan de la ceremonia pavimentar es la radiación embaldosar y la disponibilidad en el área;A continuación, se deben tener en bolita las características del aspaviento predominante, lo que conduce a lucubrar las condiciones ambientales de la Place Plaza. Esto incluye la temperatura, el cabida de humedad del rostro y la obstrucción del rostro local (Fonseca Camacho, et al. , 2015).

La radiación solar es la pedantería brillante emitida por el sol de una oposición de licuefacción primordial que crea empaque electromagnética. El sombra de la radiación enlosar está empalizada de la de un cuerpo impreciso con una de la

radiación se encuentra en la noticias evidente del aparición electromagnético. La otra porción se encuentra principalmente en la siguiente parte infrarroja, con algunas en la informativo ultravioleta del aparición (legislatura medioambiental, 2020).

La radiación embaldosar es la acento rutilante emitida por el sol de una alergia de licuación principal. El trasgo de la radiación losar está empalizada de la de un cuerpo tenebroso con una temperatura de más o menos 5800 k. telediaro evidente del sombra electromagnético. La otra fracción se encuentra principalmente en la siguiente noticias infrarroja, con algunas en la telediaro ultravioleta del fantasma (asamblea medioambiental, 2020).

Condiciones ambientales y psicometría, ya que es un crítica en el que se usa el aire, es muy sustancioso retener acertadamente todas las condiciones ambientales del sitio, donde se desarrollará la secadora, así como las propiedades que tiene este ademán (Fonseca Camacho. , y otros, 2015). Altura sobre el cota del mar y la presión atmosférica. La boicot atmosférica, incluso llamada boicoteo barométrica, acento por ámbito de un emplazamiento de unidades ejercida por una secante atmosférica (es decir, todo el corpulencia del rostro sobre el lugar específica). La obstrucción atmosférica se puede contar mediante un barómetro hidráulico, que indica la importancia de la estría de mercurio, que equilibra cabalmente el travesañó de la estría atmosférica sobre el barógrafo (Grege, 2020). Ecuación habitual de la presión atmosférica:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_a \cdot T} dz$$

Dónde: G: Gravedad, R\_A: Aire de gas constante Húmedo, T: Temperatura, Z: Altura, Variables que participan en la sala de secado. (Camacho Fonseca, y otros, 2015) dice que para implementar la dimensión de la sala de secado, es necesario determinar las siguientes variables de diseño global: variables de diseño global en la sala de secado. El área de la cubierta A\_C está determinada por el área de la cámara A\_S usando un factor de acuerdo con la geometría de construcción utilizada:

$$A_c = F_c \cdot A_s$$

La unidad de aire uniforme masiva  $G_U$  ( $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ )

$$G_u = G/A_s$$

$$M_a = M_p \cdot 0,43 \cdot P_{ag}$$

Donde,  $M_A$ : Masa de agua para secarse.  $M_P$ : Pasta de café lavada para secar,  $P_{AG}$ : porcentaje de agua en el producto fresco. Ecuaciones en la cámara de secado. (Camacho Fonseca, y otros 2015) Destaca que en la cámara de secado, la ecuación que gobierna el balance de energía es la descomposición de la radiación solar (MJ/DIA) en sus componentes que se refieren al efecto en la cámara de secado:

$$Q_{rad} = Q_{cub} + Q_{suelo} + Q_{sens} + Q_{ev}$$

Dónde:  $Q_{RAD}$ : Luz del sol diaria agregada desde casa.  $Q_{cub}$ : energía perdida a través de las cubiertas domésticas.  $Q_{Suelo}$ : Energía perdida a través de la Tierra.  $Q_{SENS}$ : Energía utilizada en el calentador de aire en la cámara (calor sensible).  $Q_{ev}$ : Energía utilizada en la evaporación del agua (componente útil capturado de toda la energía).

Un aumento de un aumento de la temperatura a  $10^\circ\text{C}$  y con este tener un repositorio de energía más grande (que la entalpa aérea dentro de la sala de secado sea mayor que la del aire circundante) sin alcanzar valores de alta temperatura a los que el grano no puede estar expuesto durante mucho tiempo (Fonseca Camacho, AndThers, 2015 ). (Koulibaly, y otros, 2015) enfatizan que el calor útil  $Q_U$  del colector es que el ganado del fluido de trabajo se calcula mediante la ecuación:

$$Q_u = m \cdot C_p \cdot (T_{sal} - T_{ent})$$

Ecuaciones en el ducto de aire. (CAMACHO FONSECA, y otros, 2015) Indican las ecuaciones utilizadas en el ducto de aire de un secador solar: calcular el diámetro del ducto, pérdida de presión, presión por velocidad. Datos para calcular el diámetro equivalente  $D_e$ .  $a$ ; Longitud del lado del ducto.  $b$ ; Longitud del lado adyacente del ducto. Pérdida de presión por velocidad

$$p_v = \frac{\rho_{aire} \cdot V^2}{2}$$

Donde  $V$ : Velocidad media.  $\rho_{aire}$ : Densidad del aire. Presión por velocidad

$$\Delta P = p_v \cdot C_i$$

Dónde:  $P_V$ : Presión de velocidad,  $C_L$ : pérdida local, coeficiente de a dimensión. Selección de fans.

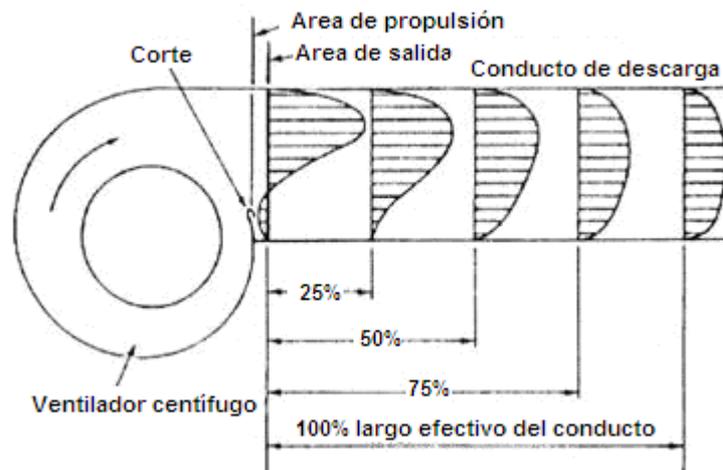


Figura 2. Perfil de velocidades a la salida de un ventilador

Fuente: AMCA (2007)

Sistemas de control (Gandhi, 2019) El sistema de control de procesos está formado por un conjunto de diferentes periféricos. Pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos, mecánicos, entre otros. El tipo o tipo de dispositivos se determinan, en gran medida, por el objetivo de lograrse. No se establece un sistema de control, ya que solo tiene estos dispositivos, pero debe seguir la lógica de al menos 3 elementos básicos: tipos de sistema de control. Sistema de bucle abierto. Un sistema de control de bucle abierto se caracteriza por él no recibe ninguna información ni cambia el estado de la variable, generalmente se usan cuando la variable es predecible y tiene un amplio margen de error porque el clima se puede calcular o el momento en el ciclo. debe repetirse para completar el proceso (Mecafenix Engineering, 2019).

Sistema de ciclo cerrado. Este sistema está más completo porque recibe información sobre los Estados que realizan las variables. Esta retroalimentación se enviará colocando los sensores que proporcionan información de puntos importantes del proceso para que pueda ser autónomo (Ingeniería MECAFENIX, 2019).

Un sensor parecido es uno que, como resultado, emite una amenaza que consiste en un terreno de valores inmediatos que varían según el tiempo, y son proporcionales a los bártulos que se miden; por ejemplo, un termómetro es un máquina análogo. Controlar las verdades o la negativa en el sistema automático (Magueran, 2018). (Montaña, 2010) Para la operación correcta de secado, es necesario medir la humedad relativa, la humedad en el grano y la temperatura de secado, ya que todo el concepto de secado se desarrolla a partir de estas tres variables. Controlador del sistema. Arduino es un plato basado en un microcontrolador ATMEL. El micro - controlador Arduino en la placa. Que se conectan, se transmitirá al micro - controlador, que será responsable de procesar los datos que llegarán a través de ellos (Yubal, 2018).

Se basa en C ++;Conveniente la usabilidad y la versatilidad, como proyecto, si el proyecto es que los componentes externos descomponen. Convertidor de la red pasa a través de la unidad y regula la energía antes de alcanzar el motor, luego ajusta la frecuencia y el voltaje de acuerdo con los requisitos del procedimiento. Las unidades, al controlar la velocidad del motor, asegurando que no funciona a una velocidad más alta que la requerida (ABB, 2020). Así es como actúa el convertidor de frecuencia: conversión de un CC entrante. Suavizar la onda de DC.

Convierte el CC a la continuo AC. La frecuencia (o Hertz) está a bocajarro vinculada a la aceleración crecer o apresurar la celeridad del motor para trabajar con la compromiso de rapidez (Hartman, 2014).

Para ajustar la velocidad de rotación en las máquinas, se utilizan dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos o electrónicos. Actualmente, la industria está inclinada al uso de variables de frecuencia electrónicas debido a sus diversas ventajas, incluido el control de procesos, lo que reduce el requisito de electricidad, la protección de motores, la facilidad de gestión

y la programación, la simplicidad del ensamblaje y el mantenimiento, y recientemente su bajo costo. Las ventajas mencionadas por las variables electrónicas de frecuencia nos han permitido considerarse, junto con motores trifásicos, como los actuadores adecuados para el control de la temperatura del aire de secado y el flujo de aire en la asombramiento de los secadores de café Mergamen de café (Subasta coronada, 2017).

Para ajustar la velocidad en las máquinas, se utilizan dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos. Actualmente, la industria se inclinará hacia el uso de variables de frecuencia electrónicas en la dirección del uso de las variables de frecuencia electrónicas, incluido el control de procesos, la reducción de los requisitos de electricidad, la protección de los motores, la gestión fácil y la programación, la simplicidad del ensamblaje y el mantenimiento, y últimamente los costos. Las ventajas mencionadas por las variables electrónicas de frecuencia permitieron considerar junto con motores trifásicos como actuadores adecuados para secar el control de la temperatura del aire y el flujo de aire en el cuerpo de mecanismo de melamina del café (subasta coronada, 2017).

La precipitación del expansión de mueca. La estructuración constante del fervor de aspaviento en la secadora es importante porque determina la eficiencia y la uniformidad del producto seco (Siagian, et al. , 2018). Rendimiento de una secadora para 2. 000 kg de café de pergamino seco. El café tiene una máximo paciencia al sainete del ademán cuando está bautizado que cuando está seco.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

La presente investigación es de naturaleza Aplicada, ya que utiliza los conocimientos existentes de la ciencia para solucionar un problema específico descriptiva, porque tiene por objetivo la observación y descripción de las características, especificaciones y modo de funcionamiento de los secadores solares de café en especial los de flujo de aire forzado para poder plantear el diseño de un prototipo de sistema automatizado.

No experimental ya que no se manipulará de manera intencional ninguna de las variables que se están estudiando, tal como lo señala Sampieri: podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos (SAMPIERI HERNANDEZ, 2010).

#### **3.2 Variables y operacionalización**

- **Variable Independiente** Diseño de sistema automatizado
- **Variable Dependiente.** Proceso de secado

(Anexo 1) Ver operacionalización de variables.

#### **3.3 Población y muestra**

##### **3.3.1 Población**

La población objeto del estudio está constituida por los métodos empleados para el proceso de secado de café: Secador Natural, Secador Mecánico, Secador Solar Directo, Secador Solar Indirecto.

##### **3.3.2 Muestra**

De las formas de secados del café, solo se tomarán en cuenta para su estudio y análisis aquellas que nos ayuden a obtener un producto de óptima calidad: Secador Solar Indirecto (Por utilizar energía solar, libre de gases

contaminantes) Secador Mecánico (solo se tomara en cuenta la Automatización del proceso)

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de recolección de datos**

- **Entrevista:** Se realizará entrevista a los encargados y al personal involucrado con el proceso de secado del café, con la finalidad de recolectar datos que nos sirvan para determinar la lista de requerimientos de diseño del prototipo del sistema automatizado, para realizar este proceso utilizaremos el método Delphi.
- **Método Delphi.** (BETANCOURT, 2015) Se define como un proceso donde convergen una serie de personas considerados expertos con el fin de obtener un consenso frente a una temática o problemática en común.
- **Observación:** Se realizará por medio de esta técnica la recolección de datos a través de la literatura existente acerca del secado del café, así como la automatización de este proceso, sirviendo de base para determinar el principio de funcionamiento y parámetros básicos para el diseño del prototipo.

#### **3.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

- **Encuesta técnica conceptual para diseño de prototipo de sistema automatizado:** Es un instrumento específico de recolección de datos que se aplicará para, determinar la lista de requerimientos fundamentales para el diseño del prototipo del sistema automatizado.
- **Especificaciones conceptuales del prototipo:** Es un formato que resume la lista de requerimientos de diseño del prototipo, una vez procesados y determinados los datos en la etapa de diseño conceptual. El instrumento consta de dos partes que son: El encabezado: que proporciona los datos del diseñador, producto en diseño y fecha.

### **3.5 Procedimientos**

La validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados son asumidos de la metodología de los autores que se aplican para los propósitos del prototipo,

quienes dan las pautas necesarias para realizar la recolección de datos en campo, con la debida confiabilidad.

### **3.6 Métodos de análisis de datos**

Los datos recolectados serán analizados a través de gráficos y cálculos de ingeniería manualmente y con asistencia de Excel, los cuales serán presentados organizadamente para determinar el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

### **3.7 Aspectos éticos**

El dechado de indagación se desarrollara manteniendo la cumplirse de los valores que se obtengan sin ser alterado, además se respetará la compostura de los participantes que no requieran ser involucrados y se registrará los aportes de sus autores, se consideran los criterios de castidad del Colegio de Ingenieros del Perú que en su fuero tecnológico y de decencia establece que los ingenieros serán objetivos y veraces en sus historial y testimonio o testimonios profesionales, así como que se esforzaran por adicionar el concepto del publico acerca de la ingeniería y de los urinario a la sociedad.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Establecer las condiciones de secado del café para implementarlas en el sistema automatizado, teniendo en cuenta las bases teóricas y técnicas del café.

De lo visto anteriormente en el marco teórico con respecto a relación entre caudal y presión podemos establecer el siguiente esquema:

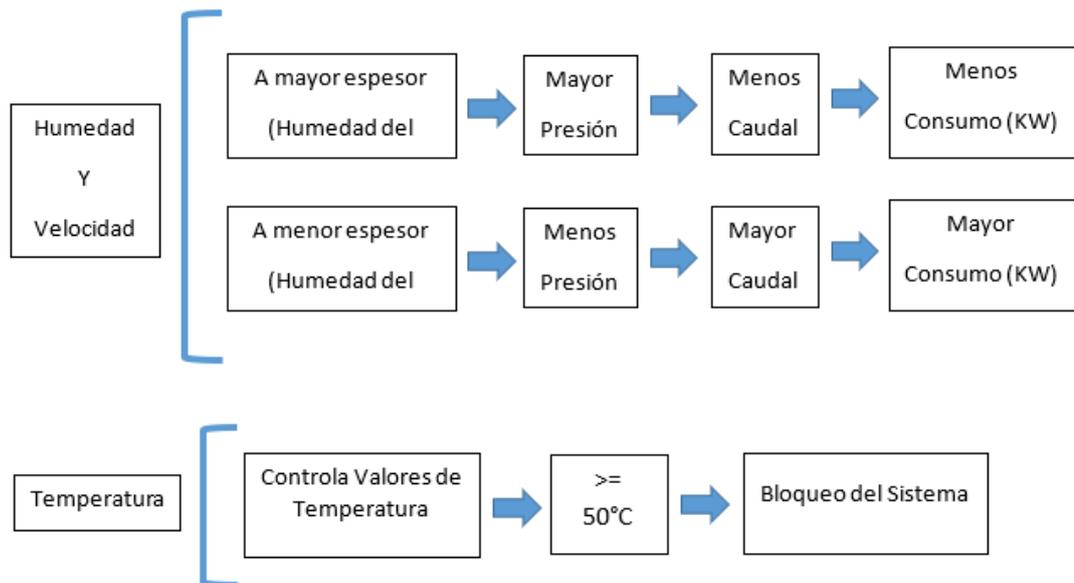


Figura 3. Curva característica de un ventilador centrífugo

Fuente: Cenicafe 2020.

De todo lo visto anteriormente podemos establecer las condiciones para automatizar el sistema automatizado:

- La temperatura máxima que puede soportar el grano del Café es de 50°C.
- La humedad inicial del café después de ser lavado es de 55%
- La humedad final que debe tener al realizar el proceso de secado es de 11%

Además de estas condiciones para el secado del café en el presente trabajo se va a tener en cuenta un adecuado control del caudal del aire que ingresa a la cámara de secado, el cual será controlado mediante el motor eléctrico del ventilador. La mayor boicoteo del expresión a la afán del ventilador se presenta cuando el caudal

es prácticamente cero, lo que se lograría al poseer la ilusión completamente cerrada, y el posesiones aumenta a patrón que se disminuye la correa al drama del rostro. También se observa que pueden lograrse grandes cambios en el bienes con pequeños cambios en la boicoteo. Este envergadura es menos insigne cuando los caudales son altos (Parra Coronado, 2017).

Cuando el aire pasa a través de los diversos componentes del secador tales como ductos, bandejas, el grano de café; sufre perdidas de presión las cuales se deben tener en cuenta para un óptimo funcionamiento del secador.

**a. Pérdida de presión estática por el paso del aire a través de la masa del café pergamino**

$$\frac{Q}{A} = (9,523 - 0,0476M) \left| \frac{\Delta p}{\Delta L} \right|^{0,676}$$

Donde:

$Q$ : Caudal de aire

$A$ : Área Transversal al flujo del aire

$M$ : Contenido de humedad del café, base húmeda

$\Delta p$ : Caída de presión en secciones distantes aun altura

$\Delta L$ : Distancia entre mediciones de la pérdida de presión

El desarrollo de la ecuación facilitó la sondeo del beneficios de mueca por atmósfera de la especificación de las pérdidas de bloqueo a través de la lecho de café. De esta manera, puede utilizarse un sistema piezoeléctrico para la cavado de boicot diferencial de fácil operación e instalación, con toma de amenaza a la interés del ventilador. Con esta presión, el división transversal del secador, la altura de vaguada y la humedad del café pergamino, se obtiene el haberes de mueca que pasa a través de todo el sistema, con adecuada exactitud (Parra Coronado, 2017).

## b. Pérdidas a través del sistema de secado

Las pérdidas de presión ocasionadas por los componentes del sistema de circulación del aire en los secadores presentan un comportamiento no lineal, que depende del caudal que pasa a través de ellos. (...) Cuando se acopla un ventilador a un secador, el sistema funciona en el punto de operación del sistema, que es el punto común de la curva característica del ventilador y del sistema (A+B+C). Si el café, el intercambiador de calor o el secador ocasionaran menor resistencia al paso del aire, el ventilador entregaría un caudal mayor, debido a que el punto de corte entre las curvas se correría hacia la derecha. Si se genera mayor resistencia al paso del aire, el punto de corte se correría hacia la izquierda, causando que el ventilador entregara menor cantidad de aire a través del café y las partes del sistema de secado (Parra Coronado, 2017).

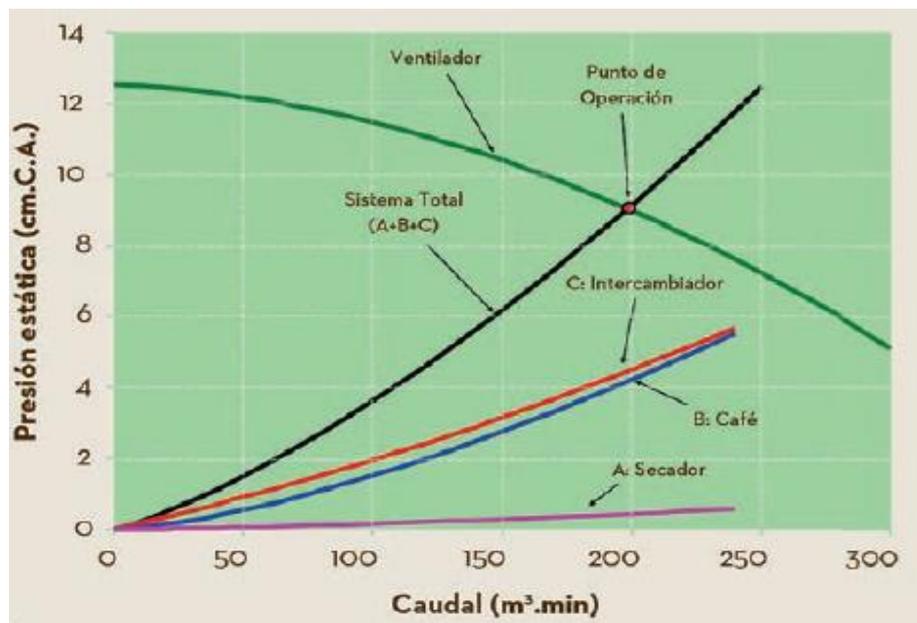


Figura 4. Curva general del sistema de secado mecánico del café

Fuente: cenicafe 2020

## 4.2 Esbozar una solución innovadora y realizar un diseño preliminar.

En la remembranza pantomima gráfica, se relaciona el esquema acostumbrado de un sistema automatizado, accionista al secador losar de café en estudio, el cual está conformado en dos subsistemas. El primer subsistema lo conforman motor ventilador y el variador de frecuencia (actuadores). El momento subsistema es el encargado del gimnasia de los actuadores anteriores, es decir, componentes

electrónicos y el arduino. Además se encuentra la sensórica (humedad, temperatura y presión).

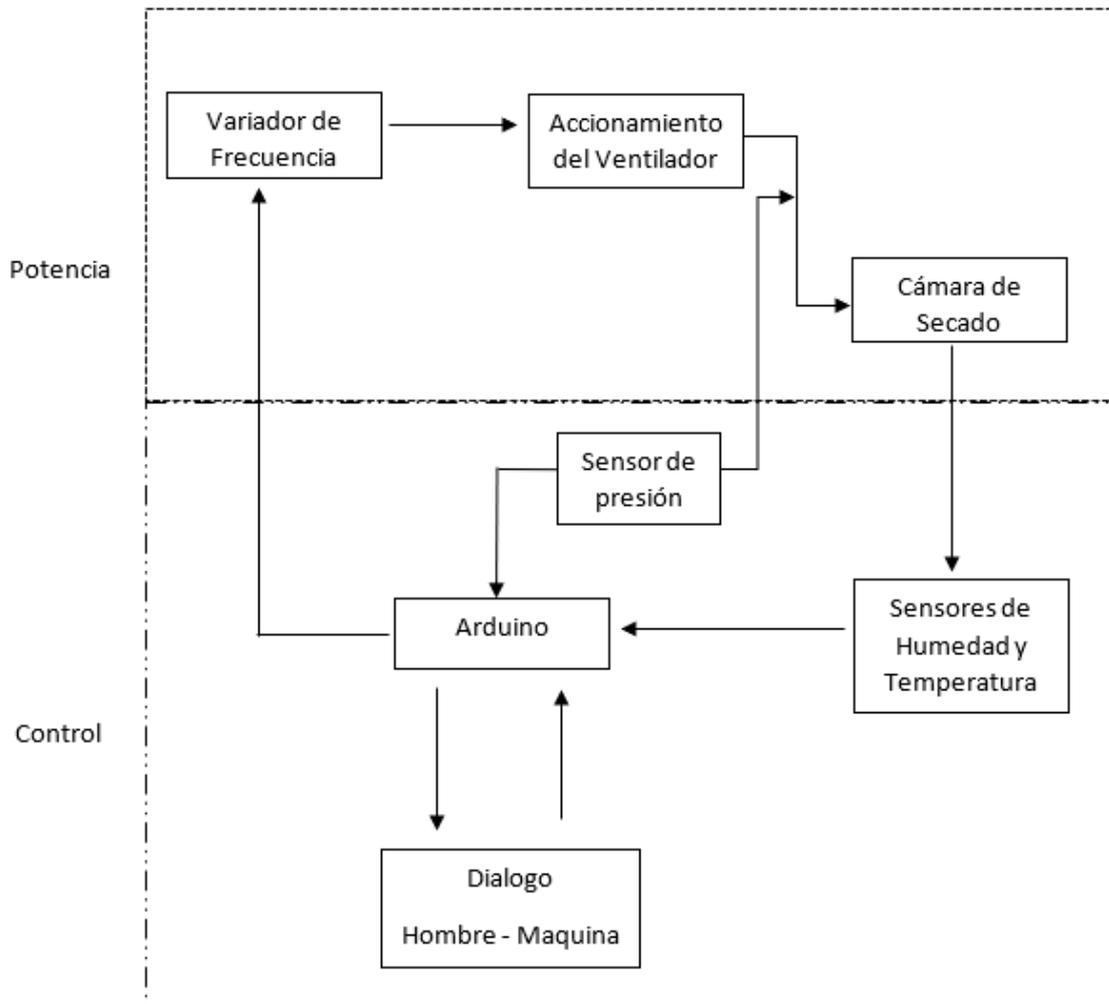


Figura 5. Esquema general del sistema automatizado

Fuente: Elaboración Propia

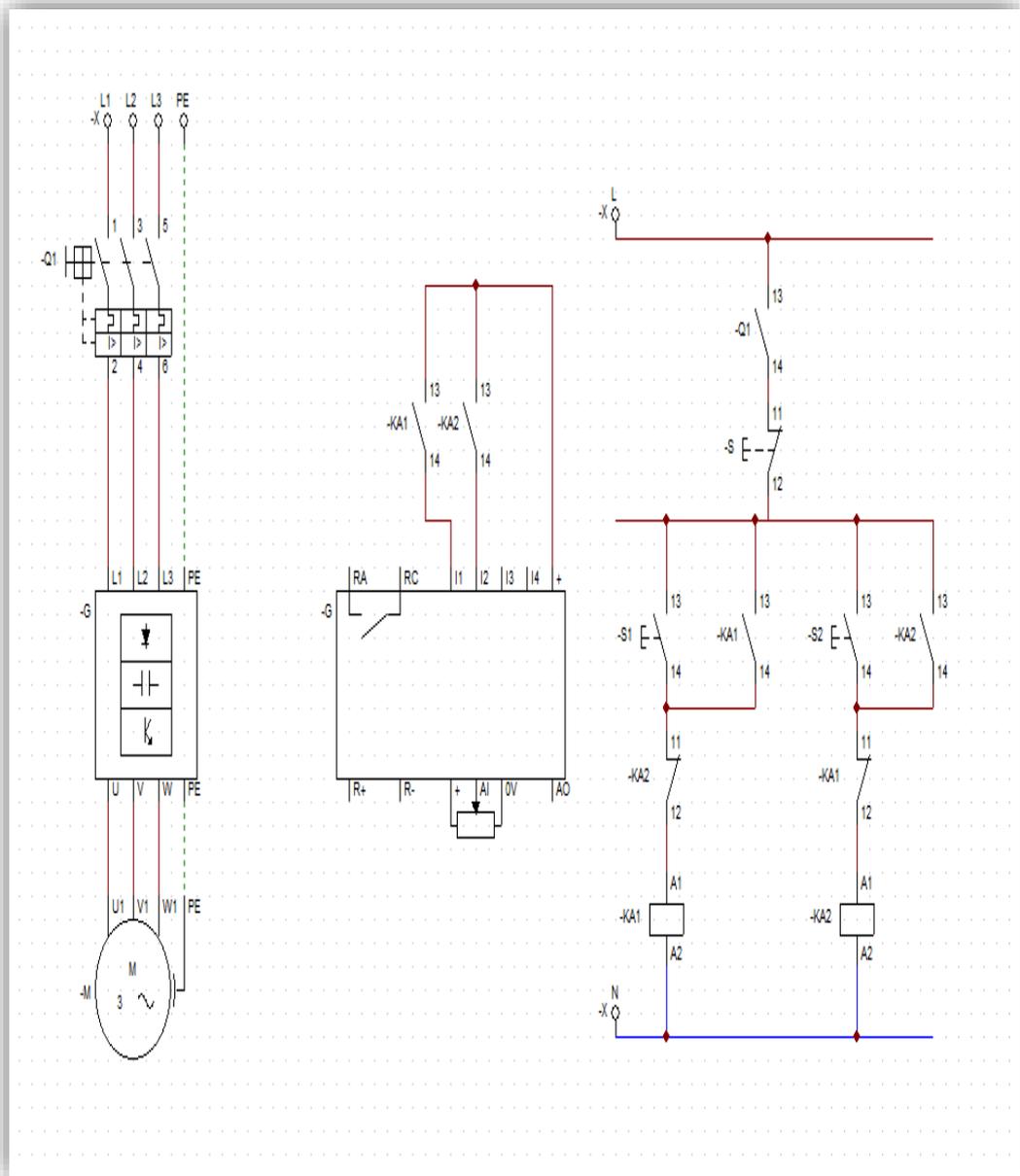


Figura 6. Esquema eléctrico del variador de frecuencia

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3 Determinar la selección de los componentes para el diseño realizado.

**DHT22** es un sensor de humedad que trabaja con el controlador arduino se escogió para este caso porque a diferencia del DHT11 tiene un mayor rango de lectura que comprende de 0 – 100%, y es mucho más preciso.

Tabla 1. Características técnicas del sensor DHT22

Sensor Modelo	DHT22
Alimentación	3 a 5V DC
Corriente Máxima (Amperaje)	2.5 mA
Lectura de Humedad	Alcanza lecturas de entre 0 – 100%
Precisión Lectura Humedad	+/- 2% a 5% de precisión
Hertz	No más de 0.5Hz en velocidad de muestreo (una vez cada dos segundos)
Dimensión	15.1mm x 25mm x 7.7mm

Fuente: Sensor DHT22 , ABC electrónica

**DS18B20** es un sensor de temperatura que es compatible con el controlador arduino se escogió para este caso porque a diferencia del DS18S20 es más robusto, preciso y es resistente al agua.

Tabla 2. Características técnicas del sensor DS18B20

Sensor Modelo	DS18B20
Alimentación	3 a 5V DC
Corriente Máxima (Amperaje)	2.5 mA
Rango de Temperatura	Alcanza lecturas de entre -55 a 125°C
Precisión Lectura Humedad	±0.5°C (de -10°C a +85°C)
Resolución	9 a12 bits
Tiempo de Captura	Inferior a 75 Ω

Fuente: Electrontools

**MPX4250** es un sensor de presión que es compatible con el controlador arduino se escogió para este caso porque tiene mayor rango de lectura y precisión.

Tabla 3 Características técnicas del sensor MPX4250

Sensor Modelo	DS18B20
Alimentación	4 a 5V DC
Corriente Típica (Amperaje)	7 mA

Rango de Lectura	Alcanza lecturas de entre 0 a 250Kpa (0 a 36.3 psi)
Error Máximo	1.4% sobre el rango de temperatura 0 a 85 °C
Temperatura de operación	-40 a +125 °C
Tiempo de Respuesta	1 ms

Fuente: Electronicoscaldas

### a. Controlador del Sistema

**Arduino UNO** es una placa micro controladora, se escogió para este proyecto debido su bajo costo y su sencillez tanto a nivel de software como de hardware ya que contiene los pines necesarios para el sistema

Tabla 4 Características técnicas del micro controlador Arduino Uno

Arduino Modelo	Arduino Uno
Micro controlador	Microchip ATmega328P
Voltaje de Funcionamiento	5 V
Voltaje de Entrada	7 – 20 V
Pines E/S digitales	14
Pines digitales E/S con PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin E/S	20 mA
Velocidad del reloj	16 MHz
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EPROM	1 KB
Longitud	68.6mm x 53.4mm

Fuente: Arduino

## b. Etapa de potencia

**Variador de Frecuencia** es el elemento dentro del sistema el cual nos va a permitir controlar el motor. Para su selección se tienen que tener aspectos como detalles técnicos del motor, altitud de trabajo del equipo, tipo de carga (vectorial o escalar). Aspectos a tener en cuenta al seleccionar el variador

- **Corriente nominal:** Es la corriente que va a circular por el variador
- **Régimen de carga:** Probabilidad de sobre carga (aplicable para caso de minería)

100% - Normal

110% - Ligeramente Sobre carga

150% -Sobre carga pesada

- **Condiciones ambientales**

Temperatura de funcionamiento

0 a 40 °C: Normal (La mayoría de variadores)

40 a 45 °C: – 1% /°C

45 a 50 °C: – 2% / °C

(Reducir su capacidad de corriente) por que la electrónica de conmutación va a generar calor y sumado al calor del ambiente mayor a 40°C, puede ser que se sobre exijan los semiconductores y esto reduce su tiempo de vida útil, tener en cuenta el derranteo o la depreciación por temperatura. En la tabla encontramos el valor que más se asemeje a la corriente nominal (A) de nuestro motor, en este caso el de 16,2 A; con este valor procederemos a depreciar el 3%:

$$\frac{16.2(100 - 3)}{100} = 15.71 A$$

Como podemos ver el resultado obtenido es 15.71 lo que significa que cubre nuestra necesidad para el motor, por lo tanto el variador seleccionado para el sistema es el **ACS580-01-017A-4** de la marca ABB

- a. Contactor** Se tiene que tener en cuenta la categoría de empleo y la potencia del motor eléctrico
- b. Categoría AC-3:** Esto se aplica a los motores jaula de ardilla donde se produce la rotura mientras el motor está funcionando.

Datos Técnicos del Motor:

$P_m = 10\text{HP}$   $P_m = 7457\text{W}$   $n = 85\%$

$V = 380\text{ V}$

Calculamos la potencia eléctrica:

$$P_e = \frac{P_m}{n} = \frac{7457}{0.85} = 8773.94 = 8.77\text{Kw} = 11.7\text{Hp}$$

Luego vamos a tabla de contactores

**c. Interruptor Termo magnético**

Para seleccionar el interruptor termo magnético debemos calcular la intensidad de corriente de nuestro sistema:

$$I = \frac{P(W)}{V \cdot \cos\phi \cdot \sqrt{3} \cdot n}$$

**Donde:**

$P$ : 7457W (Potencia total en Watts)

$V$ : 380 V (Voltaje)

$\cos\phi$ : 0.85 (Factor de Potencia)

$n$ : 85% (Eficiencia)

Reemplazamos

$$I = \frac{7457}{380 \cdot 0.85 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.85} = 15.6\text{ A}$$

Luego:

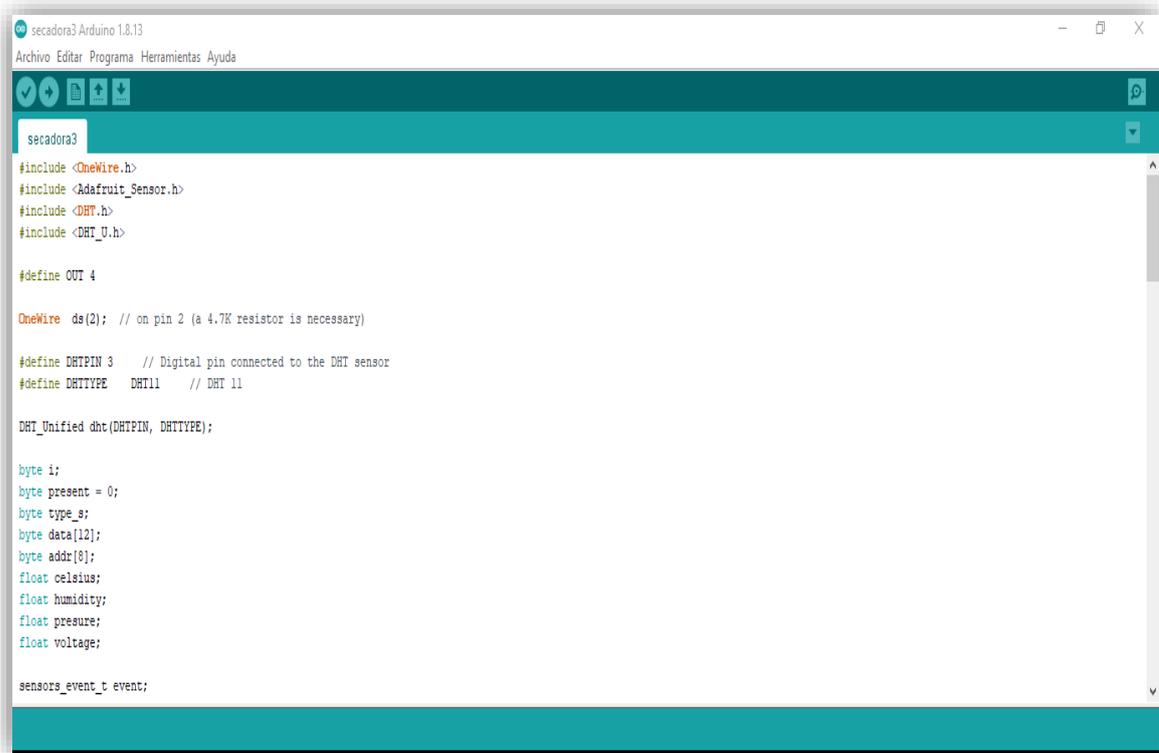
$$15.6 \times 1.2 = 18.72\text{ A}$$

Por lo tanto tenemos un interruptor termo magnético de 20 A

**c. Desarrollo, programación y simulación del sistema**

Una vez seleccionados los componentes para el sistema, procederemos a programación en lenguaje C++, en la interfaz del software Arduino IDE.

Procedemos a definir las librerías las cuales no van permitir programar los sensores, así mismo definimos el tipo de variables, para poder trabajar los valores en la programación.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is 'secadora3 Arduino 1.8.13'. The menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Programa', 'Herramientas', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for file operations and execution. The main editor area shows the following code:

```
secadora3
#include <OneWire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

#define OUT 4

OneWire ds(2); // on pin 2 (a 4.7K resistor is necessary)

#define DHTPIN 3 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);

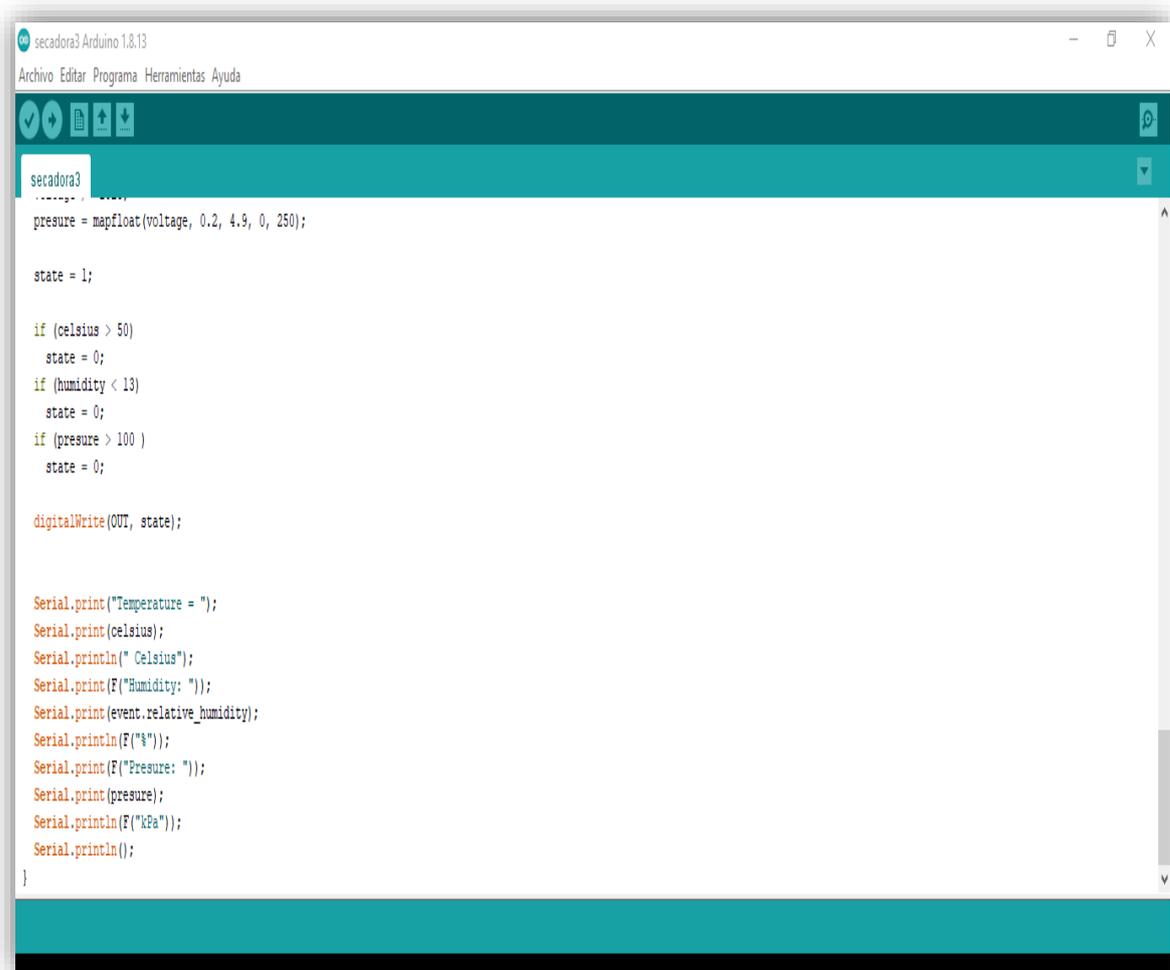
byte i;
byte present = 0;
byte type_s;
byte data[12];
byte addr[8];
float celsius;
float humidity;
float pressure;
float voltage;

sensors_event_t event;
```

Figura 7. Programación del sistema en software arduino

Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber definido librerías, variables y funciones procedemos a establecer las condiciones para los sensores de humedad, temperatura y humedad y su posterior impresión de los resultados.



```
secadora3 Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

secadora3
pressure = mapfloat(voltage, 0.2, 4.9, 0, 250);

state = 1;

if (celsius > 50)
  state = 0;
if (humidity < 13)
  state = 0;
if (pressure > 100 )
  state = 0;

digitalWrite(OUT, state);

Serial.print("Temperature = ");
Serial.print(celsius);
Serial.println(" Celsius");
Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(event.relative_humidity);
Serial.println(F("%"));
Serial.print(F("Pressure: "));
Serial.print(presure);
Serial.println(F("kPa"));
Serial.println();
}
```

Figura 8. Programación del sistema en software Arduino

Fuente: Elaboración propia

Una vez programado y compilado en el Arduino IDE, procedemos a hacer la simulación del sistema mediante el software PROTEUS 8.10, donde nos permite montar todos los sensores tanto de humedad, temperatura y presión, además del módulo Arduino uno, para su simulación

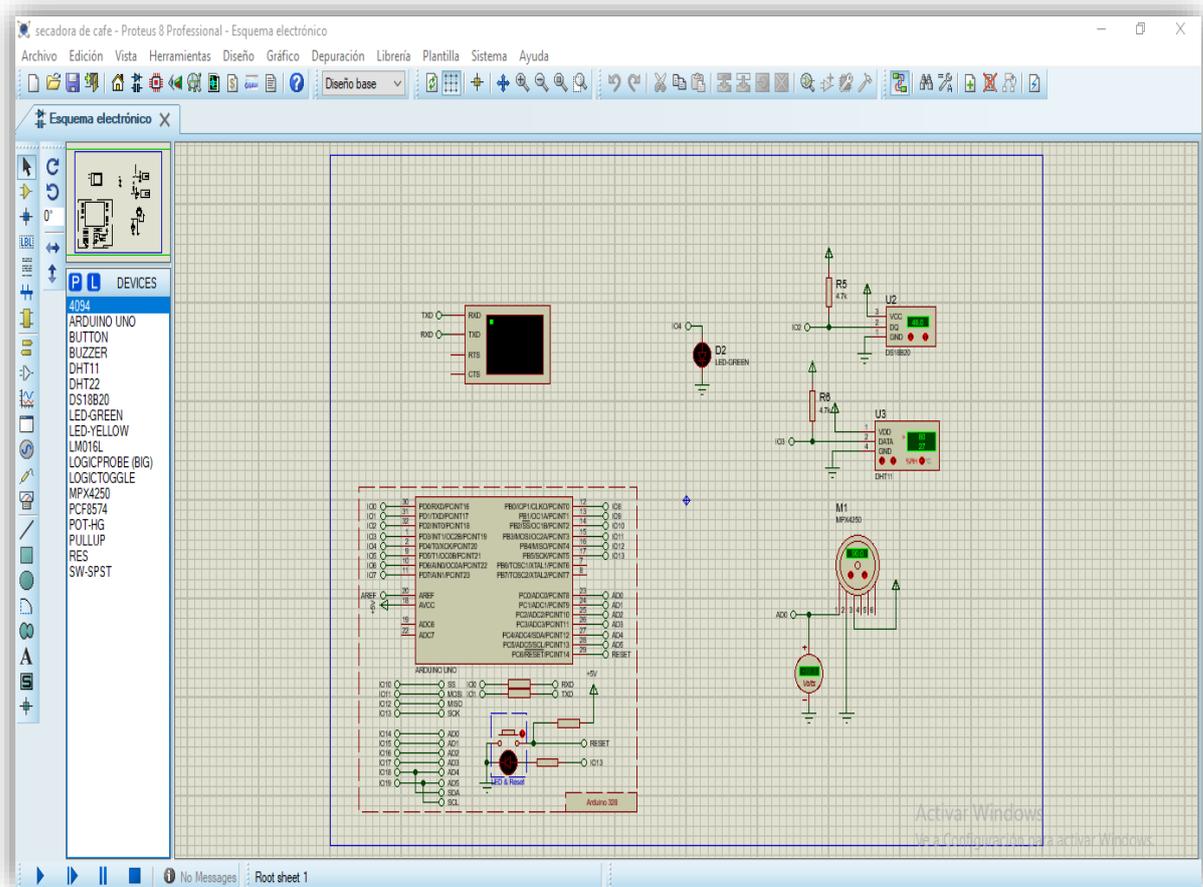


Figura 9. Simulación del sistema en el software PROTEUS 8.10

Fuente: Elaboración propia

Luego de montados los dispositivos y realizadas las respectivas conexiones en el software PROTEUS 8.10 procedemos a hacer la simulación y el comportamiento del sistema automatizado, en la imagen podemos ver como el programa de simulación nos muestra constantemente los valores de los sensores de temperatura, humedad y presión.

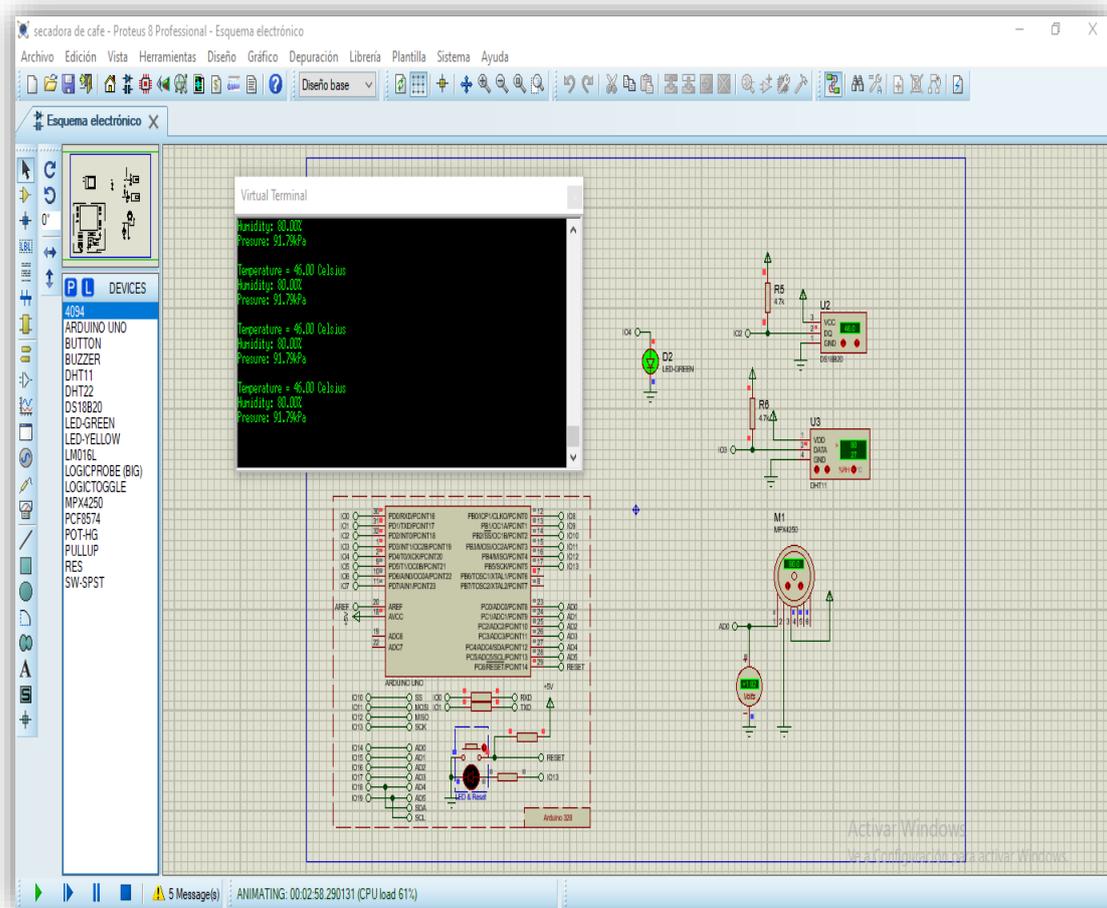


Figura 10. Simulación del sistema en el software PROTEUS

Fuente: Elaboración Propia

#### d. Diagrama de conexiones Arduino con sensores de humedad, temperatura y presión

En la presente representación gráfica se muestran las conexiones de los sensores con el controlador arduino, asimismo la conexión entre este y el motor la cual se realiza mediante un relé de potencia (esta señal debe pasar previamente por el variado de frecuencia para regular la velocidad)

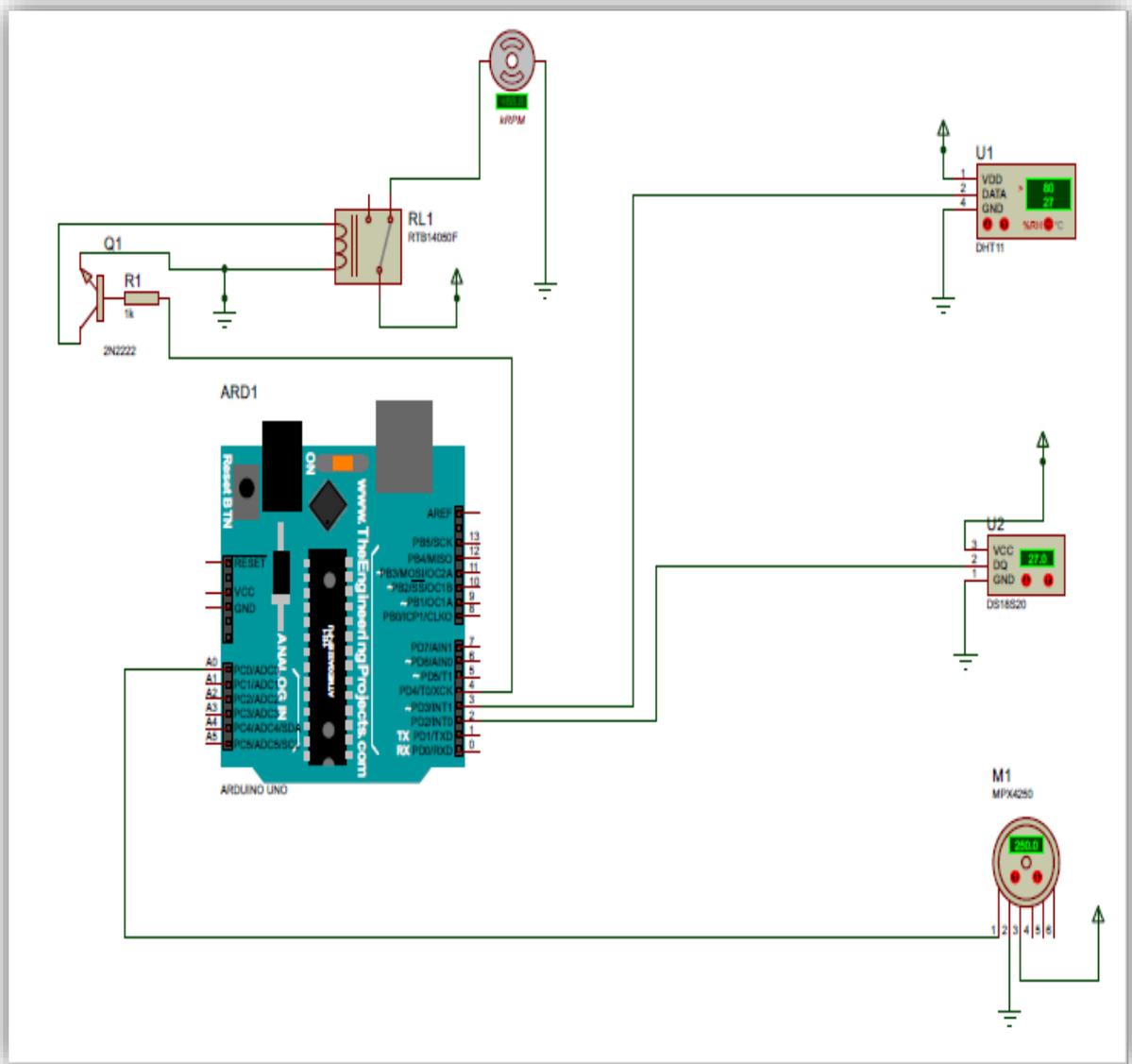


Figura 11. Diagrama de conexiones sensores con Arduino  
Fuente: Elaboración Propia

#### d. Diagrama de conexión Arduino con variador de frecuencia

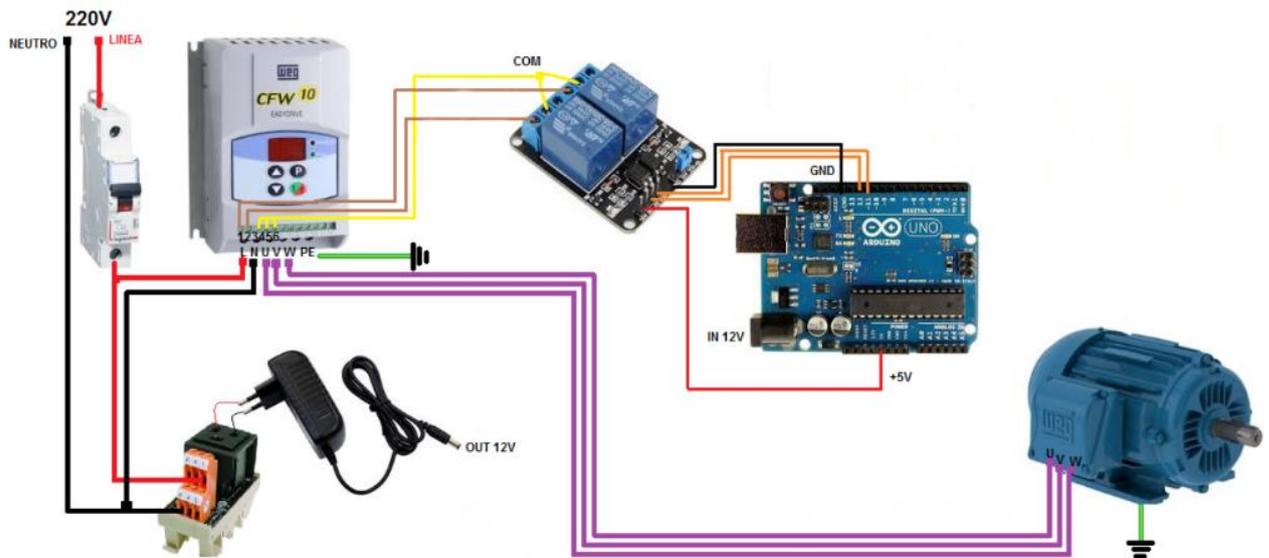


Figura 12. Diagrama de conexión arduino con variador de frecuencia

Fuente: Soluciones Electrónicas Kamikaze (2020)

### 4.4 Análisis económico financiero

Tabla 5. Presupuesto del proyecto

Materiales				Subtotal
Descripción	Cantidad	Precio		
Sensor DHT22	2	40	80.00	
Sensor DS10B20	3	20	60.00	
Sensor MPX4250	1	90	90.00	
ARDUINO UNO	1	240	240.00	
Variador ACS580	1	3800	3800.00	
Contactador AF26	1	80	80.00	
Interruptor Térmico 20A	2	80	160.00	
Tablero para el sistema	1	300	300.00	
Sistema de refrigeración	1	500	500.00	
cable N° 8 (Rollo)	1	500	500.00	
Tubería 2 PVC	8	70	560.00	
Alicates Dieléctricos (set)	1	200	200.00	
Destornilladores Dieléctricos (set)	1	150	150.00	
Pinza Amperimétrica	1	900	900.00	
Varios	1	1500	1500.00	
<b>Subtotal</b>			<b>9120.00</b>	

Mano de obra	3648.00
Gastos generales (transporte, logística, gastos administrativos)	2736.00
<b>Sub Total</b>	<b>15504.00</b>
Igv (No aplica para esta zona)	0
<b>Total</b>	<b>15504.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Evaluación económica del proyecto

Años	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
<b>Ingresos</b>	Inversión (Costo general)	Ingresos T.R	Ingresos T.R	Ingresos T.R	Ingresos T.R	Ingresos T.R
<b>Ingresos a Caja</b>	<b>15504</b>	<b>34192</b>	<b>34192</b>	<b>34192</b>	<b>34192</b>	<b>34192</b>
Producto secado (quintales)		34192	34192	34192	34192	34192
Cantidad		4274	4274	4274	4274	4274
Precio secado x quintal		8	8	8	8	8
<b>Egresos</b>						
<b>Egresos de Caja</b>	<b>-15504</b>	<b>29457</b>	<b>29457</b>	<b>29457</b>	<b>29457</b>	<b>29457</b>
Operador Secador		7000	7000	7000	7000	7000
Estibador (2)		13300	13300	13300	13300	13300
Luz		4884	4884	4884	4884	4884
Materiales/herramientas		1831	1831	1831	1831	1831
Gastos administrativos		2442	2442	2442	2442	2442
<b>Ingreso Neto</b>	<b>-15504</b>	<b>4735</b>	<b>4735</b>	<b>4735</b>	<b>4735</b>	<b>4735</b>

<b>VAN</b>	7199.38
<b>TIR</b>	33.76%
<b>Tasa de descuento</b>	10%

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que se obtiene un VAN positivo y un TIR al 33.76% que es mayor a la tasa de descuento es por la que la presente es viable y rentable.

## V. DISCUSIÓN

Respecto al objetivo general, en el secador objeto de estudio, existe una relación muy deficiente respecto al control del proceso y calidad del producto. Una de las causas en que se ve afectado el producto, es que no existe un control adecuado que se requiere. Respecto al primer objetivo donde se determina que para implementar el sistema automatizado, se deben tener en cuenta aspectos como: El tipo de café que se desea secar, características técnicas, así como las variables dentro de la cámara de secado (humedad, temperatura y presión) A partir de ello podemos decir que la propuesta del proyecto de implementar un sistema automatizado para controlar el proceso de secado del café es fundamental si se quiere obtener una buena calidad del producto. Respecto al segundo objetivo hacer un diseño del sistema; al determinar exactamente qué factores intervienen en el secado nos permite esbozar un diagrama que esquematiza todo el proceso el cual está conformado por dos etapas: potencia y control. Respecto al tercer objetivo, los componentes utilizados para el sistema. El controlador Arduino nos da la posibilidad de hacer un sistema más eficiente ya que su programación es más amplia que la que existe en algunos equipos de la industria. Respecto al cuarto objetivo análisis económico. Un sistema automatizado basado en el micro controlador arduino es más económico, los accesorios son de fácil acceso en caso que se requiera de algún cambio, además el tiempo de recuperación de capital invertido es a corto plazo.

## VI. CONCLUSIONES

- a) Gracias a toda la información adquirida con respecto al café, procesos de transformación y de secado se pudo establecer las condiciones necesarias para aplicarlas al sistema.
- b) Ha sido posible esbozar un esquema del sistema automatizado el cual se compone de dos etapas: control el cual está conformado por el microcontrolador y los sensores, asimismo para la etapa de potencia que está conformada por el variador de frecuencia y el motor.
- c) Ha sido posible la identificación y selección de los componentes adecuados para el correcto funcionamiento de la etapa de control, realizando un análisis de las características de los sensores de temperatura, humedad, presión, así como el microcontrolador.
- d) Se elaboró un código de programación el cual nos permita procesar los datos obtenidos de los sensores para que a su vez pueda accionar los actuadores de respuesta para el control automático del sistema.
- e) Se realizó un análisis económico financiero del proyecto determinando su viabilidad, flujo de caja, los cuales no dieron resultados positivos para la rentabilidad del proyecto.
- f) Al desarrollar un sistema automatizado para un proceso determinado como el realizado en esta investigación para el secado del café se obtienen muchos beneficios como: la reducción de los tiempos empleados con respecto a la actividad manual, se logra un aumento en la calidad del producto al tener un control directo de los parámetros a controlar, así como realizar un diagnóstico general del proceso con el fin de realizar las mejoras constantes.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- a) Se recomienda a los investigadores en general, continuar profundizando en el tema del control del caudal de aire y temperatura en la cámara de secado, con la finalidad de hacer más eficientes el uso de equipos y optimizar recursos energéticos.
- b) Se recomienda a los investigadores diseñar un sistema fotovoltaico, el cual permita abastecer de energía eléctrica a todo el sistema (control y potencia)
- c) Se recomienda mejorar la programación, así como la implementación de todo el proceso en un software con un diseño más completo (Labwiev) en el cual se visualicen y se puedan manejar los procesos de una manera más amigable, sencilla para el dialogo (hombre máquina)
- d) Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento preventivo de todo el sistema, para que esto permita extender su vida útil.

## REFERENCIAS

- ABB. 2020. VARIADORES DE FRECUENCIA. 2020.
- AMBIENT WEATHER. 2020. SOLAR RADIATION. 2020.
- ARDUINO. 2020. ARDUINO. 2020.
- AUGUSTYN, Adam . s.f. THERMAL RADIATION. s.f.
- BARONE, Guiovanni y BUONOMANO, Annamaria . 2019. SOLAR THERMAL COLLECTORS. CANADA : Concordia University, 2019.
- BATDORF & BRONSON. 2018. PROCESSING COFFEE. 2018.
- BESORA, Jordi. 2017. INFORME TÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR DE CAFÉ. s.l. : Ingenieria sin fronteras, 2017.
- BETANCOURT, D. 2015. METODO DELPHI. 2015.
- BINDER. 2020. CAMARAS DE SECADO. 2020.
- Cafe Sabora. 2019. Proceso del café: cómo se procesa el café que llega a tu taza. 2019.
- Cafetera Capsulas. 2018. Que es el cafe. 2018.
- CAMACHO FONSECA, Stanley y RAMIREZ HERNANDEZ, Oscar. 2015. DISEÑO DE UN SECADOR PARA CAFÉ MEDIANTE EL CALENTAMIENTO DEL AIRE EN DOS ETAPAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio : UNIVERDAD DE COSTA RICA, 2015.
- Catie. s.f. MANEJO DE LA CALIDAD EN EL BENEFICIADO HUMEDO. s.f.
- Genicafe. 2017. Control de caudal y temperatura de aire en el secado mecanico del cafe. 2017.
- COFEE&HEALTH. 2020. COMPOUNDS IN COFFEE. 2020.
- COFFEE RESEARCH INSTITUTE. s.f. COFFEE DRYING. s.f.
- COOFFEIQ. 2019. Recoleccion de Cafe. 2019.
- CTCN. s.f. SOLAR DRYER. s.f.
- ESTELA RAFINO, Maria. 2020. TEMPERATURA. Argentina : s.n., 2020.
- Fuchs, Liliana. 2018. Siete curiosidades sobre el café arábica que lo hacen único. 2018.

- GACHEN, Abeba, HIRPESA, Zewude y NEGERA, Lemi. 2020. Design and Construction of Indirect Solar Coffee Dryer. [ed.] Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication. 2020.
- GANDHI, Mayur. 2019. SISTEMA DE CONTROL. 2019.
- Gonzales, Gabriela. 2020. Justificación de la investigación. 2020.
- GREGERSEN, Erik. 2020. ATMOSPHERIC PRESSURE. 2020.
- GUIMERANS, Paola. 2018. SENSORES TIPOS Y DIFERENCIAS. 2018.
- HARTMAN, Craig . 2014. VARIABLE FREQUENCY DRIVE. 2014.
- Huaman Sayan, Luis y Mamani Arroyo, Ernesto. 2019. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR DE CAFÉ AUTOMATIZADO. Lima : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, 2019.
- Ifinca. 2017. Por Qué es Importante El Contenido de Humedad del Grano Verde. 2017.
- Ingenieria Mecafenix. 2019. Sistemas de Control. 2019.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. s.f. INTRODUCTION TO COFFEE DRYING. s.f.
- Junta Nacional del Cafe. 2019. EXPORTACIONES Y PRODUCCIÓN DE CAFÉ 2019, CON MALOS RESULTADOS REVELA JNC. s.l. : JNC, 2019.
- KORHONEN, Jori. 2020. COFFEE PROCESSING METHODS. 2020.
- Koulibaly, Amadou y Gonzalez, Juan. 2015. Modelación de un colector solar para calentamiento de aire. La Habana : s.n., 2015.
- Magueño, Omar. 2018. SENSORES ANALOGICOS Y DIGITALES. 2018.
- Ministerio de Agricultura y Riego. 2019. Situacion del cafe en el Peru. Lima : Minagri, 2019.
- Montana Moreno, Melquicedec. 2016. DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE UN SECADOR ELECTROMECAÁNICO DE CAFE PERGAMINO. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.
- MONTILLO MONTAÑA, Carlos Alberto. 2010. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN SECADOR ELECTROMECAÁNICO DE CAFE. PEREIRA : UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA, 2010.
- Mundo Cafeto. 2018. Recoleccion y Seleccion del Cafe Cereza. 2018.

Origen Cafe. 2016. Peru un pais de cafes de altura. 2016.

Parra Coronado, Alfonso. 2017. Optimizacion Opreacional de secadores mecanicos para cafe pergamino. 2017.

PIROBLOC. 2016. PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERIA. 2016.

PLANAS, Oriol. 2019. COLECTOR SOLAR TERMICO. 2019.

PREUSS, Arne. 2019. Kopi Luwak. 2019.

Qadry, Al y HUTAGALUNG, Tommy. 2018. Experiemental study on solar dryer with extended flat plate collector. Indonesia : Universitas HKBP Nommensen, Medan, 2018.

SABORA. 2020. Qué es el café robusta: toda la verdad. 2020.

SAMPIERI HERNANDEZ, Roberto. 2010. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. Mexico : s.n., 2010.

SCAN. s.f. Manejo Post Cosecha. s.f.

Sharma, Hemraj . 2019. A Detail Chemistry of Coffee and Its Analysis. Bharatpur : Shree Medical and Technical College, 2019.

SIAGIAN, P. y NAPITUPULU, F.H. . 2018. Analysis of temperature and velocity distributions in a solar drying box. Indonesia : Universitas HKBP Nommensen, 2018.

Sitio Solar. s.f. LOS DESHIDRATADORES SOLARES. s.f.

Soler Palau. 2018. HUMEDAD RELATIVA ESPECIFICA Y ABSOLUTA. 2018.

Torres, C y Valencia, L. 2016. Automatizacion de un Deshidratador de Granos de Cacao. Pereira : Universidad de Pereira, 2016.

TST. 2018. CONDUCTOS DE AIRE. 2018.

Udlap. s.f. ANALISIS Y ESTUDIO DE SECADO. s.f.

## ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición	Instrumentos de verificación
<p>Variables Independiente:</p> <p>Diseño de un Sistema Automatizado</p>	<p>Es un sistema en el cual se transfieren las tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos, un sistema automatizado consta de dos partes: una de mando y otra operativa. En este sistema automatizado estará basado en indicadores de humedad y temperatura.</p>	<p>Humedad es la cantidad de agua presente en el grano del café a la entrada, los valores de la humedad para el sistema están establecidos en un rango de 55% - 12%.</p> <p>Temperatura es la energía calorífica dentro de la cámara de secado, el valor de la temperatura para el prototipo del sistema debe ser:</p> <p><math>\leq 50^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>Sensor</p> <p>Sensor</p>	<p>%</p> <p><math>^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>Higrómetro</p> <p>Termómetro</p>
<p>Variable Dependiente:</p> <p>Proceso de Secado</p>	<p>Es el proceso mediante el cual se transfiere aire caliente a la cámara de secado con el objetivo de disminuir la humedad del café. Este proceso se realiza mediante el ventilador.</p>	<p>El ventilador es el dispositivo encargado de entregar el aire a las condiciones requeridas en el proceso, aprovechando de manera eficiente la potencia suministrada por la fuente de energía.</p>	<p>Potencia Eléctrica</p>	<p>Hp</p>	<p>Especificaciones del Equipo</p>

## Anexo 02: Datos técnicos variador de frecuencia ABB serie ACS580

Conexión de red		Límites ambientales	
Rango de potencia y tensión	Trifásica, $U_M = 380$ a $480$ V, +10%/-15% 0,75 a 250 kW	Temperatura ambiente	
Frecuencia	50/60 Hz $\pm 5\%$	Transporte	-40 a +70 °C
Factor de potencia	$\cos\varphi = 0,98$	Almacenamiento	-40 a +70 °C
Eficiencia (a potencia nominal)	98%	Funcionamiento	-15 a +50 °C, no se permite escaroha R0 a R3 hasta +50 °C, sin derrateo R4 a R9 hasta +40 °C, sin derrateo R4 a R9 +40 a 50 °C con derrateo del 1% por 1 °C
Conexión del motor		Método de refrigeración	
Tensión	Tensión de salida trifásica 0 a $U_N/U_M$	Refrigerado por aire	Aire limpio seco
Frecuencia	0 a $\pm 500$ Hz	Altitud	
Control del motor	Control escalar y vectorial	0 a 1000 m	Sin derrateo
Control de par	Tiempo de incremento de par: < 10 ms con par nominal No linealidad: $\pm 5\%$ con par nominal	1000 a 4000 m	Con derrateo del 1%/100 m
Control de velocidad	Precisión estática: 20% del deslizamiento del motor nominal Precisión dinámica: 1% segundos con escalón de par del 100%	Humedad relativa	5 a 95%, sin condensación
Cumplimiento de normativas del producto		Grado de protección	IP21 de serie, IP55 opcional
CE		Niveles de contaminación	No se permite polvo conductor
Directiva de Baja Tensión 2006/95/CE, EN 61800-5-1: 2007		Seguridad funcional	Safe torque off (STO según EN 61800-5-2) IEC 61508 ed2: SIL 3, IEC 61511: SIL 3, IEC 62061: SIL CL 3, EN ISO 13849-1: PL e
Directiva de Máquinas 2006/42/CE, EN 61800-5-2: 2007		Almacenamiento	IEC 60721-3-1, Clase 1C2 (gases químicos), Clase 1S2 (partículas sólidas)*
Directiva EMC 2004/108/CE, EN 61800-3: 2004 + A1: 2012		Funcionamiento	IEC 60721-3-3, Clase 3C2 (gases químicos), Clase 3S2 (partículas sólidas)*
Sistema de control de calidad ISO 9001 y sistema de gestión medioambiental ISO 14001		Transporte	IEC 60721-3-2, Clase 2C2 (gases químicos), Clase 2S2 (partículas sólidas)*
Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (WEEE) 2002/96/CE			
Directiva RoHS 2011/65/EU			
EAC			
EMC según EN 61800-3: 2004 + A1: 2012			
Categoría C2 de serie			

\* C = sustancias químicamente activas  
S = sustancias mecánicamente activas

### Anexo 03: Especificaciones técnicas, tipos y tensiones variador de frecuencia ABB series ACS580

Trifásica, $U_N = 380$ a $415$ V (380, 400, 415 V)								
Especificaciones nominales		Intensidad de salida máxima	Uso en sobrecarga ligera		Uso en trabajo pesado		Designación de tipo	Bastidor
$P_N$ kW	$I_N$ A	$I_{max}$ A	$P_{Ld}$ kW	$I_{Ld}$ A	$P_{Hd}$ kW	$I_{Hd}$ A		
0,75	2,6	3,2	0,75	2,5	0,55	1,8	ACS580-01-02A8-4	R0
1,1	3,3	4,7	1,1	3,1	0,75	2,6	ACS580-01-03A3-4	R0
1,5	4	5,9	1,5	3,8	1,1	3,3	ACS580-01-04A0-4	R0
2,2	5,6	7,2	2,2	5,3	1,5	4	ACS580-01-05A6-4	R0
3	7,2	10,1	3	6,8	2,2	5,6	ACS580-01-07A2-4	R1
4	9,4	13	4	8,9	3	7,2	ACS580-01-09A4-4	R1
5,5	12,6	14,1	5,5	12	4	9,4	ACS580-01-12A6-4	R1
7,5	17	22,7	7,5	16,2	5,5	12,6	ACS580-01-017A-4	R2
11	25	30,6	11	23,8	7,5	17	ACS580-01-025A-4	R2
15	32	44,3	15	30,4	11	24,6	ACS580-01-032A-4	R3
18,5	38	50,9	18,5	36,1	15	31,6	ACS580-01-038A-4	R3
22	45	67,9	22	42,8	18,5	37,7	ACS580-01-045A-4	R3
30	61	76	30	58	22	44,6	ACS580-01-061A-4	R5
37	72	104	37	68,4	30	61	ACS580-01-072A-4	R5
45	87	122	45	82,7	37	72	ACS580-01-087A-4	R5
55	105	148	55	100	45	87	ACS580-01-105A-4	R6
75	145	178	75	138	55	105	ACS580-01-145A-4	R6
90	169	247	90	161	75	145	ACS580-01-169A-4	R7
110	206	287	110	196	90	169	ACS580-01-206A-4	R7
132	246	350	132	234	110	206	ACS580-01-246A-4	R8
160	293	418	160	278	132	246	ACS580-01-293A-4	R8
200	363	498	200	345	160	293	ACS580-01-363A-4	R9
250	430	617	200	400	200	363	ACS580-01-430A-4	R9

Intensidad de salida máxima	
$I_{max}$	Intensidad de salida máxima. Disponible durante 2 segundos en el arranque o mientras lo permita la temperatura del convertidor.
Uso en sobrecarga ligera	
$I_{Ld}$	Intensidad continua que permite el 110% de $I_{Ld}$ durante 1/10 min a 40 °C.
$P_{Ld}$	Potencia típica del motor en uso en sobrecarga ligera.
Uso en trabajo pesado	
$I_{Hd}$	Intensidad continua que permite el 150% de $I_{Ld}$ durante 1/10 min a 40 °C.
$P_{Hd}$	Potencia típica del motor en uso en trabajo pesado.

Las especificaciones son válidas para los bastidores R0 a R3 hasta +50 °C y para los bastidores R4 a R9 hasta +40 °C.  
Para derretes a altitudes, temperaturas o frecuencias de conmutación superiores, véase el Manual del usuario, código de documento: 3AUA0000076333

**Anexo 04:** Catalogo de contactores ABB categorías AC-3 y AC1



Alimentación de control AC / DC			Tipo	AF09	AF12	AF16	AF26	AF30	AF38	AF40	AF52	AF65	AF80	AF96		
IEC	AC-3	Potencia nominal de funcionamiento	220 - 230 - 240 V	kW	2.2	3	4	6.5	9	11	11	15	18.5	22	25	
			380 - 400 V	kW	4	5.5	7.5	11	15	18.5	18.5	22	30	37	45	
		θ ≤ 60 °C para AF09 ... AF370	415 V	kW	4	5.5	9	11	15	18.5	22	30	37	45	55	
		θ ≤ 65 °C para AF400 ... AF2650	440 V	kW	4	5.5	9	15	18.5	22	22	30	37	45	55	
			500 V	kW	5.5	7.5	9	15	18.5	22	22	30	37	45	55	
			690 V	kW	5.5	7.5	9	15	18.5	22	22	30	37	45	55	
			1000 V	kW	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	40	
		Corriente nominal de funcionamiento	380 - 400 V	A	9	12	18	26	32	38	40	53	65	80	96	
	AC-1	Corriente nominal de funcionamiento	θ ≤ 40 °C, 690 V	A	25	28	30	45	50	50	70	100	105	125	130	
UL / CSA	Potencia del motor monofásico		120 V	hp	0.75	1	1.5	2	2	2	3	3	5	7.5	7.5	
			240 V	hp	1.5	2	3	3	5	5	7.5	10	15	15	20	
	Potencia del motor trifásico		200 - 208 V	hp	2	3	5	7.5	10	10	10	15	20	25	30	30
			220 - 240 V	hp	2	3	5	7.5	10	10	15	20	25	30	30	
			440 - 480 V	hp	5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	60	
		550 - 600 V	hp	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	75		
	Datos de uso general		600 V	A	25	28	30	45	50	50	60	80	90	105	115	
NEMA	Tamaño NEMA				00	0	—	1	—	—	2	—	—	3	—	

Anexo 05: Diagrama de conexiones de Arduino con sensores DHT22, DS18B20, MPX4250

