

DISEÑO DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL SECADO Y DESGRANE DEL FRIJOL.

JOSÉ MARIANO MARTÍNEZ PAREJA.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS.

PEREIRA

2015.

**DISEÑO DE SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL SECADO Y DESGRANE DEL
FRIJOL.**

JOSÉ MARIANO MARTÍNEZ PAREJA.

Proyecto de grado para optar por el título de Tecnólogo en Mecatrónica.

Director:

Henry William Peñuela.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS.

PEREIRA

2015.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA.

A Dios, por mis creencias debo agradecerle antes que a cualquier otra persona, por darme la lucidez y la perseverancia para alcanzar mis sueños.

A mis padres, gracias por darme el suficiente valor para afrontar cada dificultad que se me presento en este proyecto que estoy culminando. A ellos debo lo que soy y lo que he logrado, de ahí las gracias por ayudarme de todas las formas posibles, para que yo creciera como persona y este cumpliendo uno de los grandes sueños que tengo hasta el momento.

A mi hermana, agradezco de corazón todos los momentos donde me escucho mis ideas, donde me dio consejos muy valiosos para poder aclararlas y poderlas sacar a flote, como es este proyecto.

A mi esposa Ángela, doy inmensas gracias por darme el espacio necesario para culminar mis estudios y por estar a mi lado en cada una de las situaciones que nos ha tocado vivir. Gracias por ser el aliento que me anima a cumplir cada sueño.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Tecnológica de Pereira, la cual es mi alma mater donde encontré el espacio necesario para adquirir cada uno de los conocimientos necesarios para convertirme en un profesional.

Al programa de Ingeniería Mecatrónica, que mediante su planta de profesores y espacios adecuados para la adquisición de conocimientos, me permitieron formarme para la vida laboral.

Al ingeniero Henry William Peñuela, que mediante sus conocimientos, experiencia y dedicación, me acompañó en la dirección durante todo el proceso del proyecto.

RESUMEN.

Durante el diseño del proceso automático de secado y desgrane de frijol, se tienen en cuenta cada una de las etapas que hay en este proceso, acorde a cada una de estas, se diseñan mecanismos que ayuden a una mejor obtención de los granos de frijol. Cumpliendo con normas establecidas para cada etapa, se diseña la utilización de elementos eléctricos y electrónicos, para tener una visualización de cada variable presente en el sistema.

Dada la importancia de cada etapa del proceso, a lo largo del desarrollo del diseño se establecen modificaciones que presten un desempeño mejor para el proceso, estos cambios están presentes en la parte del diseño mecánico.

El diseño de cada etapa se hace en tres partes, estas se conforman en: el primer paso es la elaboración de un diseño mecánico, donde se tenga en cuenta cada una de las características tanto de los materiales a usar como de la materia a procesar; el segundo paso es el establecimiento de las formas de uso y procesamiento de cada elemento que las compone; el tercer paso es el uso de un medio eléctrico o electrónico para determinar el cambio de las variables, y así poder tomar decisiones por parte del operario acerca de las condiciones de trabajo del sistema.

CONTENIDO.

LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. Conocimientos básicos sobre el grano del frijol.....	12
1.1 Cultivo de frijol en el mundo.....	12
1.2 Actualidad del cultivo de frijol en Colombia.....	13
1.3 Mecanismo para el pos cosecha del frijol.....	14
1.4. Aspectos ineficientes de la producción de frijol.....	16
1.5. Variables presentes en el proceso de pos cosecha de frijol.....	11
2. Diseño Mecánico.....	18
2.1. Diseño de elementos para el proceso de secado.....	24
2.2. Diseño de elementos para el proceso de trillado.....	24
2.3. Diseño de elementos para el proceso de separación de suciedades...29	29
3. Identificación de las variables.....	30
3.1 Humedad relativa.....	30
3.2 Temperatura.....	33
3.3 Caudal de aire.....	33
4. Descripción programa en plataforma arduino para el control del proceso.....	34
5. Análisis de costo.....	40
5.1 Componentes eléctricos.....	40
5.2 Elementos mecánicos.....	40
5.3 Mano de obra.....	42

5.4 Presupuesto final.....	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
7. BIBLIOGRAFIA.....	44

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Área de producción y rendimiento de frijol en Colombia 2011A.....	14
Tabla 2: Características de la plancha de secado.....	20
Tabla 3: Características de techo en vidrio.....	21
Tabla 4: Características de operación de Servo Motor.....	22
Tabla 5: Principales características Motor de Ventilación.....	24
Tabla 6: Características ductos de ventilación.....	25
Tabla 7: Características resistencia disipadora de calor.....	26
Tabla 7: Características del tambor triturador.....	28
Tabla 8: Principales características Moto-reductor.....	29
Tabla 9: Principales características Motor de ventilación.....	31
Tabla 10: Características medidor de humedad en granos.....	33
Tabla 11: Características sensor de temperatura.....	35
Tabla 12: Características de funcionamiento plataforma Arduino.....	36
Tabla 13: Componentes eléctricos.....	39
Tabla 14: Presupuesto elementos mecánicos.....	39
Tabla 15: Presupuesto de mano de obra.....	43
Tabla 16: Presupuesto final.....	43

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Principales Productores de Frijol en el Mundo, 2000-2010.....	12
Figura 2: Principales productores de frijol en Colombia.....	13
Figura 3: Esquema completo del silo.....	18
Figura 4: Plancha de secado.....	19
Figura 5: Techo en vidrio.....	20
Figura 6: Mecanismo de apertura de ventana.....	21
Figura 7: Servo motor Goteck.....	22
Figura 8: Motor de ventilación.....	23
Figura 9: Ducto de ventilación.....	24
Figura 10: Resistencia para el calentamiento de aire.....	24
Figura 11: Tambor triturador.....	27
Figura 12: Mecanismo de trituración.....	29
Figura 13: Moto-reductor.....	29
Figura 14: Motor de ventilación para separación de suciedades.....	30
Figura 15. Medidor de humedad en granos.....	33
Figura 16: Sensor de temperatura.....	34
Figura 17: Arduino Uno.....	36
Figura 18: Diagrama de elementos eléctricos.....	37
Figura 19: Ilustración programa en plataforma Arduino.....	38
Figura 20: Diagrama de flujo, proceso de pos cosecha del frijol.....	38

LISTA DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Potencia absorbida por un ventilador.....Pág. 23

Ecuación 2: Potencia de un motor para mecanismo giratorio.....Pág. 28

Ecuación 3: Potencia necesaria en una máquina.....Pág. 30

INTRODUCCIÓN.

En cuanto a la agricultura la necesidad es muy grande, ya que las labores que allí se hacen son de un gran esfuerzo, llevando consigo grandes consecuencias en la salud de quienes laboran en este medio, en el desarrollo de este sistema se busca aliviar las cargas físicas en el trabajo, este proceso va dirigido a el secado y desgranado del frijol.

En el campo agricultor se vio implementada la tecnología a partir de finales del siglo XIX, teniendo su auge en Europa y Estados Unidos, más adelante tuvo grandes desarrollos hacia el siglo XX, sin embargo en la época actual en los países con menos desarrollo de tecnología la agricultura ha avanzado, pero es muy poca a comparación con la desarrollada en los países llamados “potencias”. Por tal razón se desea implementar el sistema al tipo de industria agricultora que sería parte de la solución a un proceso rudimentario de un producto que es necesidad en la canasta familiar como lo es el frijol.

Establecidas las falencias que en estos momentos existen en el proceso de cosecha de frijol en la región, se plantea la necesidad de integrar varios aspectos de la tecnología, que se requieren para la suplantación de parte de la mano de obra, conocidas las ventajas que proporcionan los mecanismos eléctricos se diseña el proceso de secado mediante motores de ventilación y resistencias eléctricas para el suministro del aire caliente y a su vez se da un mecanismo con un motor paso a paso para la apertura de ventanas que normalicen la temperatura del ambiente. Otro mecanismo se da es el trillado de las vainas a través de un motor reductor que permita el giro de los tambores, los cuales sacan los granos de las vainas secas. Por último la separación de los granos de las suciedades se hace mediante la ayuda de un motor de ventilación que al generar una corriente de aire saca toda suciedad liviana que haya presente, y para la separación de las suciedades solidas y de mayor peso se hacen pasar por una zaranda.

Determinados los mecanismos se establecerán condiciones de trabajo, las cuales se dan a través del uso de la plataforma Arduino, la que cumplirá con las funciones de supervisión de los adecuados parámetros de funcionamiento y de control con cada una de las actividades requeridas para una culminación del proceso.

1. Conocimientos básicos sobre el grano del frijol.

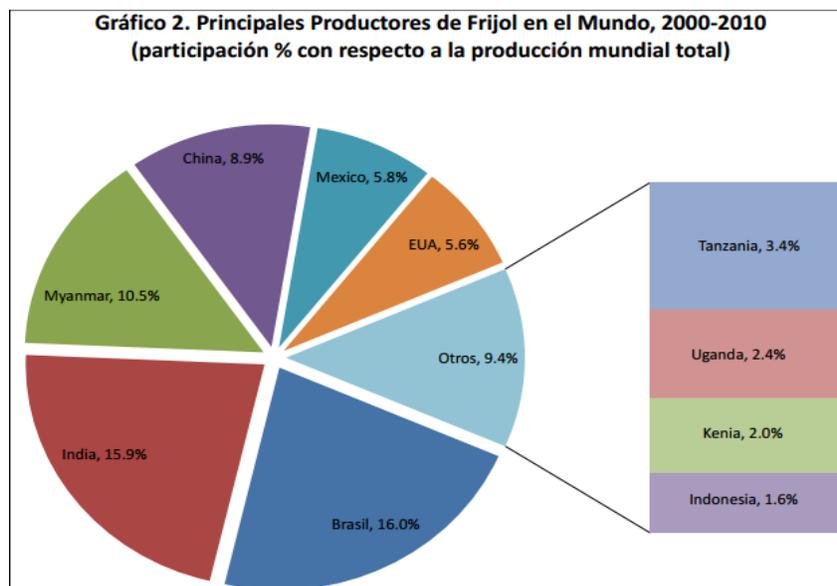
1.1 Cultivo de frijol en el mundo.

El cultivo de frijol por ser de producción voluble, es uno de los más atractivos para los agricultores, ya que la cantidad de producción es más alta en comparación a la que se obtiene de otro tipo de cultivo de leguminosas. Además los granos al ser tratados pueden darse como semilla para hacer una nueva plantación de cultivo.

El grano de frijol es perteneciente a las leguminosas de grano, dentro de este grupo es el más importante para el consumo humano, este grano es producido en casi todo el mundo, estando presente en 129 países de todos los continentes, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), América latina es la principal productora de frijol aportando un 45% [1] de la producción mundial (véase figura 1) y allí este grano ocupando uno de los primeros lugares en el consumo de la canasta familiar de los campesinos.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) estima que entre los años de 1969 al 2007 se ha producido en promedio cada año 15 millones de toneladas y en el 2008 subió a 20 millones de toneladas estableciendo un rendimiento de 730 kilogramos por hectárea [1].

Figura 1: Principales Productores de Frijol en el Mundo, 2000-2010.



Fuente: Secretaria de Economía, Dirección general de industrias básicas [1].

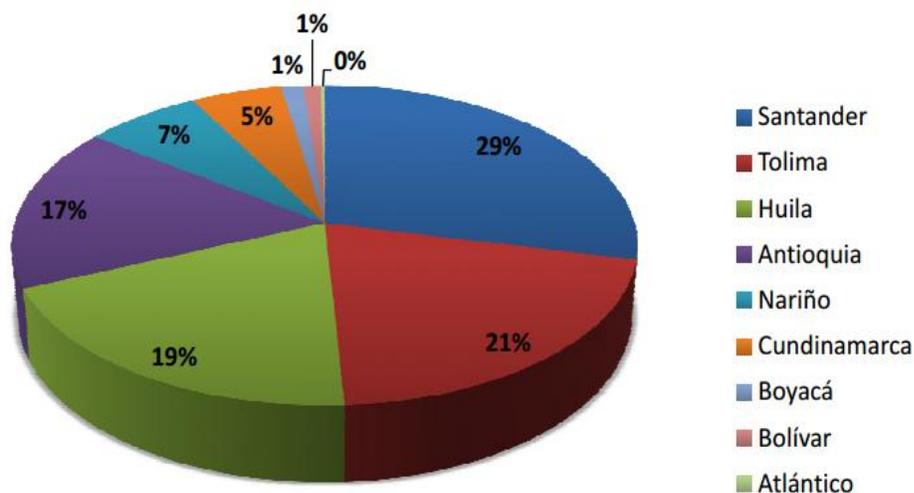
1.2 Actualidad del cultivo de frijol en Colombia.

Los cultivos de frijol en Colombia están limitados por la cantidad de dinero que posean los agricultores, los grandes periodos en el tiempo de cultivación y en el proceso de pos cosecha, hace que este cultivo este siendo cambiado por otro tipo, ya que la demanda de mano de obra hace encarecer los costos finales.

El frijol ha sido uno de los ingredientes fundamentales en la gastronomía del país, debido a esto se da la necesidad de cultivar grandes cantidades de este producto que vaya de la mano con condiciones que garanticen ventajas tales como: hacer una cosecha anticipadamente para minimizar riesgos contra desastres o cambios naturales, hacer una planificación de la cosecha cuando se tiene buen conocimiento sobre los posibles periodos climáticos a venir, garantizar un mayor tiempo de almacenamiento gracias a las condiciones de secado, poder variar los precios gracias a la demanda y oferta que se dé durante el periodo de cosecha.

Figura 2: Principales productores de frijol en Colombia.

Principales productores de fríjol en Colombia



Fuente: Reportes de las oficinas regionales de FENALCE. 2011B. [2]

La zona andina es la mayor productora frijol en Colombia dadas las condiciones climáticas presentes en esta (véase figura 2), por eso en la actualidad los mayores

avances en las innovaciones para el mejoramiento del proceso de secado y desgrane de frijol se da en la zona del departamento de Antioquia, donde se realizan estudios que lleven al aumento de la productividad del mismo, a demás con ayudas de organizaciones no gubernamentales han podido adquirir nueva maquinaria que ha ayudado a reducir intervención de la mano de obra y aumentar la cantidad de la producción.

Para la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) Colombia representa el 0.8% de la producción mundial, a demás cuenta con un rendimiento promedio en la producción por hectárea de 1.1 toneladas y una producción total de 64.053 toneladas (véase tabla 1) [3].

Tabla 1. Área de producción y rendimiento de frijol en Colombia 2011-A.

Área producción y rendimiento de Frijol en Colombia 2011-A

Total Frijol	Área Sembrada Final (Ha)	Rendimiento Esperado (Ton/Ha)	Producción Esperada (Ton)
<i>Tolima</i>	9.707	1,37	13.264
<i>Atlantico Sur</i>	45	1,00	45
<i>Bolivar Norte</i>	62	1,00	62
<i>Bolivar Centro</i>	95	1,00	95
<i>Nariño</i>	4.717	0,64	3.041
<i>Santander</i>	12.800	1,21	15.450
<i>Boyacá</i>	760	1,48	1.128
<i>Huila</i>	8.675	1,26	10.968
<i>Cundinamarca</i>	2.800	1,66	4.640
<i>Antioquia</i>	11.053	1,39	15.361
Total	50.714	1,26	64.053

Fuente: Reportes de las oficinas regionales de FENALCE [3].

1.3 Mecanismo para el pos cosecha del frijol.

El pos cosecha en un cultivo de frijol se hace en varios pasos empezando por la recolección de las vainas hasta el empaclado para la venta.

Recolección de las vainas:

Esta actividad se hace de forma manual, estas se recogen cuando presentan una deshidratación o tiene una madures del 70 % [4], lo cual hace que todas las vainas de un cultivo no se recojan en un mismo tiempo. A demás se procura por hacer las recolecciones de las vainas en temporadas con condiciones climáticas secas, para el ahorro de energía a la hora del proceso de secado.

Secado de las vainas:

Se realiza después del pos cosecha, allí los granos dentro de la vaina llegan con humedad aproximada al 20% [4] cuando se ha dejado que el 75% de las vainas de frijol alcanzaran su madurez fisiológica, en este proceso el grano puede perder hasta 6.5 veces el valor del grano seco. Este procedimiento actualmente se hace de tres maneras, según las condiciones técnicas de los cultivos pueden ser:

- Secado al aire libre, aprovechando la energía calórica que proporcionan los rayos de luz solar.
- Secado bajo techos con condiciones que ayuden al aumento de la temperatura para así acelerar el proceso.
- Secado mediante ayuda de elementos mecánicos, como es la implementación de moto ventiladores, los cuales hacen circular aire por resistencias eléctricas que disipan calor, lo que hace que este se caliente y por ende aumente la temperatura.

Este proceso debe cumplir con condiciones preestablecidas como lo son la temperatura máxima de 50-55 °C [4] cuando se destina para una producción alimenticia, si es para la elaboración de semillas la temperatura no debe sobre pasar la temperatura de 40 °C [4], no se debe disminuir la humedad relativa por debajo del valor ideal para un correcto almacenamiento y no prolongar los periodos establecidos para hacer revisiones de temperatura y humedad en los granos.

Trillado de vainas y granos:

Es el procedimiento que se hace a partir de que las vainas de frijol presentan unas condiciones físicas adecuadas para ser sometidas al trillado, para hacer este procedimiento hay dos maneras de hacerlo:

- Una manera es mediante el aporreo de las vainas con un palo, el cual al hacer varios impactos deforma la vaina, permitiendo que los granos queden libres de la cascarilla.
- Otra manera es hacer pasar los granos por un elemento mecánico llamado triturador, el cual por tener una superficie de igual manera a estos, permite sacar los granos a parte de la cascarilla.

Separación de granos y suciedades:

Es la labor más dispendiosa para darle el valor agregado a este producto, ya que de la limpieza que tenga es donde se garantiza las condiciones de higiene para el almacenamiento, por eso se dan dos maneras de separar los granos:

- La primera forma consiste en separar manualmente cada uno de los granos de la cascarilla o suciedad.
- La otra es mediante la ventilación, sea mecánica o manual, el cual consiste en hacer pasar un flujo perpendicular a la masa de los granos, esta acción separa toda suciedad que haya.

Empacado de granos:

Se hace después de que los granos están con la mínima suciedad posible y con la humedad relativa adecuada, para garantizar que después de empacado no se alteren las condiciones normales de almacenamiento, el empacado debe ser al vacío.

1.4. Aspectos ineficientes de la producción de frijol.

Como es mencionado en la actualidad del cultivo de frijol en Colombia, la mano de obra encarece los costos, ya que la demanda de este producto se da cada vez con mayor exigencia para el consumo humano, al hacer un análisis exhaustivo sobre todo el proceso se denotan deficiencias como:

- La recolección de las vainas se hace de forma general, sin determinar cual vaina tiene una madurez adecuada para ser cosechada.
- El secado de las vainas de frijol no es uniforme en todas, lo cual reduce el tiempo de almacenamiento con adecuadas condiciones.
- La medición de la humedad relativa se hace de manera empírica lo cual no garantiza una exactitud en la variable a analizar.

- No se garantiza en el proceso de secado una adecuada superficie para hacerse intercambio calorífico a las vainas y reducir los daños físicos y nutricionales de los granos.
- El trillado de frijol por el mecanismo de aporreo es perjudicial para la calidad del grano, ya que por el impacto crea fisuras lo que hace que se vea propenso a contraer contaminantes, dados los residuos ajenos que se encuentran alrededor de estos.
- La separación de las suciedades de los granos al hacerse manualmente demanda mucho tiempo.

1.5. Variables presentes en el proceso de pos cosecha de frijol.

El poder conocer cada una de las variables que hay en el proceso, permite tener una mayor certeza al realizarlo, para que cumpla con los requerimientos necesarios para un buen producto. Las variables que se dan en el sistema son:

- **Humedad relativa:**

Cantidad de agua presente en una materia determinada, esta se da en porcentaje sobre la cantidad total.

- **Temperatura:**

Hace referencia a los estados de caliente, tibio o frío. Para el caso de este proyecto es el proceso termodinámico que se da entre el medio en el cual se realiza y las vainas de frijol.

- **Caudal de aire:**

Es el flujo que se desplaza perpendicularmente a el desplazamiento de una metería, para este caso los granos de frijol. Los cuales no pueden ser desplazados por la energía del aire que los atraviesa.

2. Diseño Mecánico.

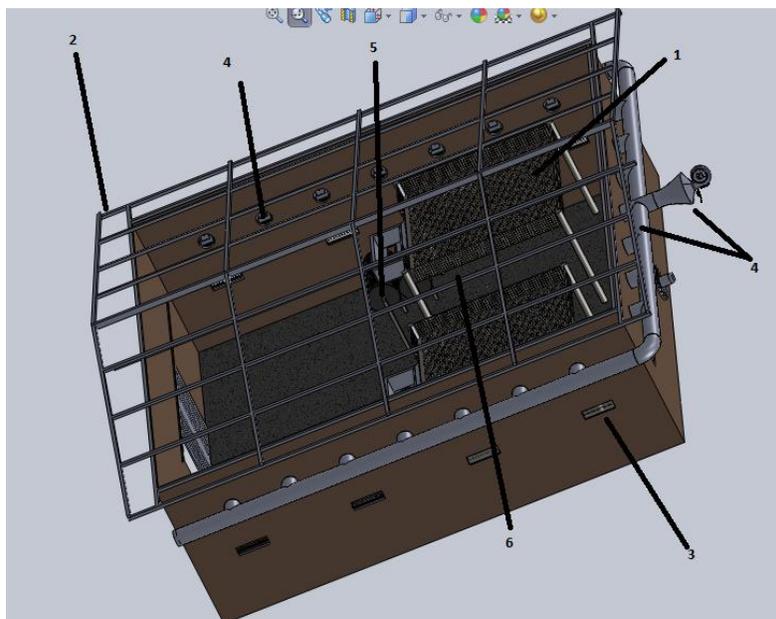
Establecidas las condiciones para una buena producción de frijol, el paso a seguir se inicia con el diseño de cada uno de los mecanismos, los cuales permitirán que cada etapa dentro del proceso de pos cosecha, se haga de una manera adecuada y acorde a las exigencias tanto del consumidor, como a las establecidas por la ley.

El diseño de cada mecanismo se basa en la observación de las deficiencias actuales en el proceso, dado que estas son las causantes para que la producción de frijol no sea un negocio rentable y competitivo con otros cultivos creados para el mismo fin.

Los diseños a realizar deben contar con propiedades adecuadas para garantizar que la integridad física de los granos de frijol sea la adecuada, desde que se inicia el proceso de cosecha, hasta que pasa al proceso de almacenaje. Además también deben contar con prestaciones de operación fácil, ya que todos los mecanismos a diseñar serán manipulados por personas con poca experiencia en el manejo de estos.

Acorde a lo mencionado en el capítulo uno, sobre cada una de las etapas en el proceso de pos cosecha, a continuación se mencionara los diseños realizados para cada etapa y se darán especificaciones claras sobre su conformación, tanto de materiales como de dimensiones.

Figura 3: Esquema completo del silo.



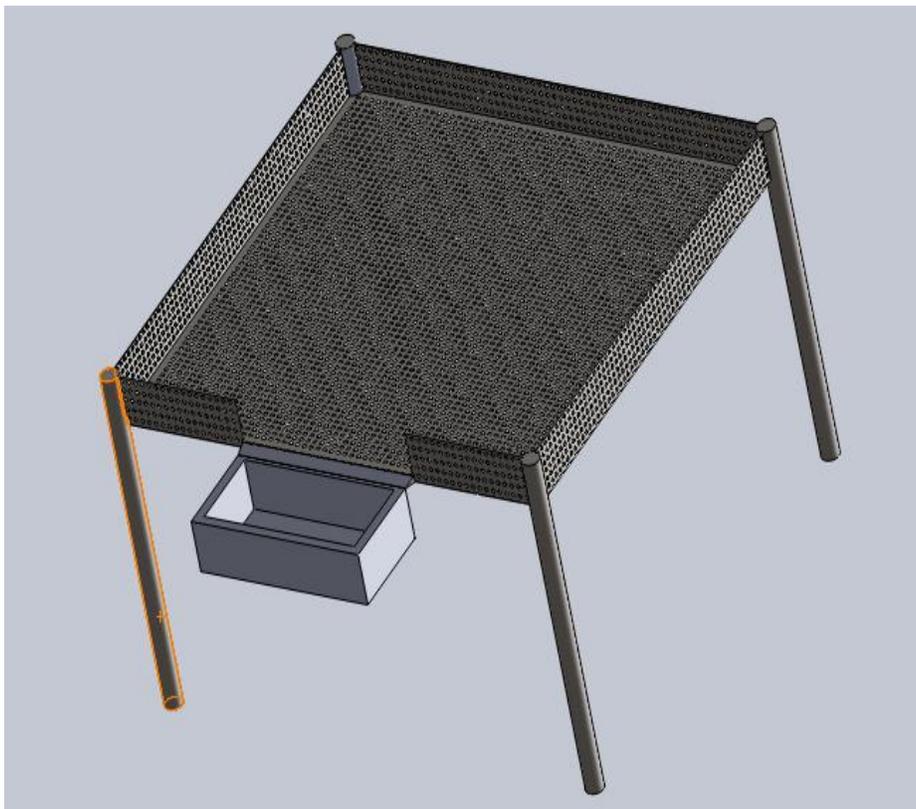
Fuente: Autor.

2.1. Diseño de elementos para el proceso de secado:

Plancha de secado (1):

La plancha de secado (véase figura 4), se diseña acorde a las maneras artesanales que los agricultores emplean para secar los granos de frijol, la cual consiste en hacer pilas y someterlas al calor para reducir el contenido interno de agua en ellos. Dado el diseño de la plancha lo que se realizara es una distribución uniforme sobre la misma, al tener orificios en cada una de sus caras tanto laterales como inferiores y además al estar a una altura prudente del suelo, permite que el flujo de aire caliente, el encargado de reducir la humedad, entre en contacto con cada vaina allí almacenada.

Figura 4: Plancha de secado.



Fuente: Autor.

La forma y medidas dadas en el diseño de la plancha de secado están a una escala de producción en grandes cantidades. Las dimensiones se dan en la tabla 2.

Tabla 2: Características de la plancha de secado.

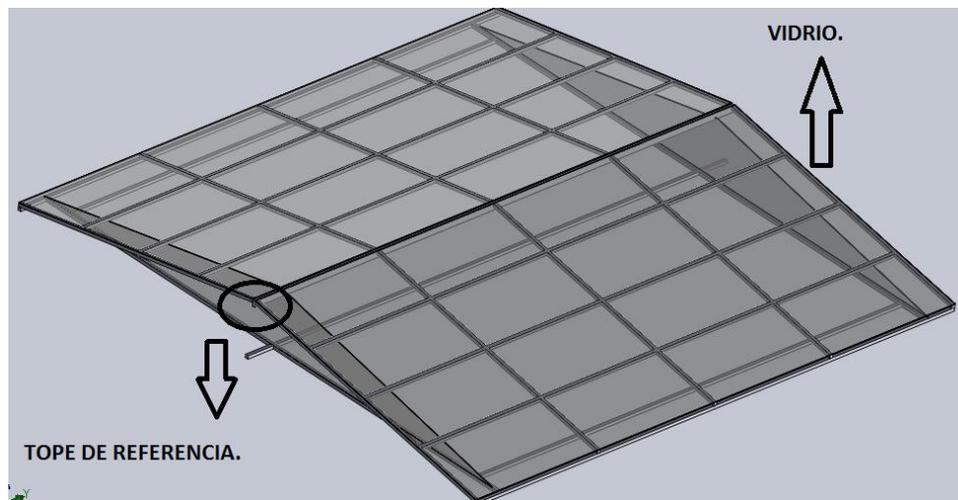
Características de la plancha de secado	
Altura con respecto del suelo	3 metros.
Altura de paredes de la plancha	0.5 metros.
Ancho	5 metros.
Largo	5 metros.
Volumen de almacenaje de la plancha	12.5 metros cúbicos.
Peso de carga del frijol a almacenar	2300 kilogramos.
Calibre de lámina	3/8 pulgada, densidad 7.84 gr/cm ³
Material de la lámina	Acero inoxidable.

Fuente: Autor

Techo en vidrio (2):

Conocidas las propiedades caloríficas brindadas por los rayos de luz, en el diseño del techo en vidrio, se aprovecha al máximo la energía que los rayos solares proporcionan durante parte de un día soleado, lo anterior con la intención de ahorrar energía para el aumento de temperatura en el recinto contenedor donde se realiza el proceso de secado. Para garantizar la mayor obtención de energía calorífica brindada por los rayos solares, se recomienda la construcción del techo de tal forma que cada uno de los topes (véase figura 5) estén situados hacia los puntos cardinales de norte y sur, permitiendo el desplazamiento del sol sobre todo el techo de oriente a occidente.

Figura 5: Techo en vidrio.



Fuente: Autor.

Las dimensiones del techo son:

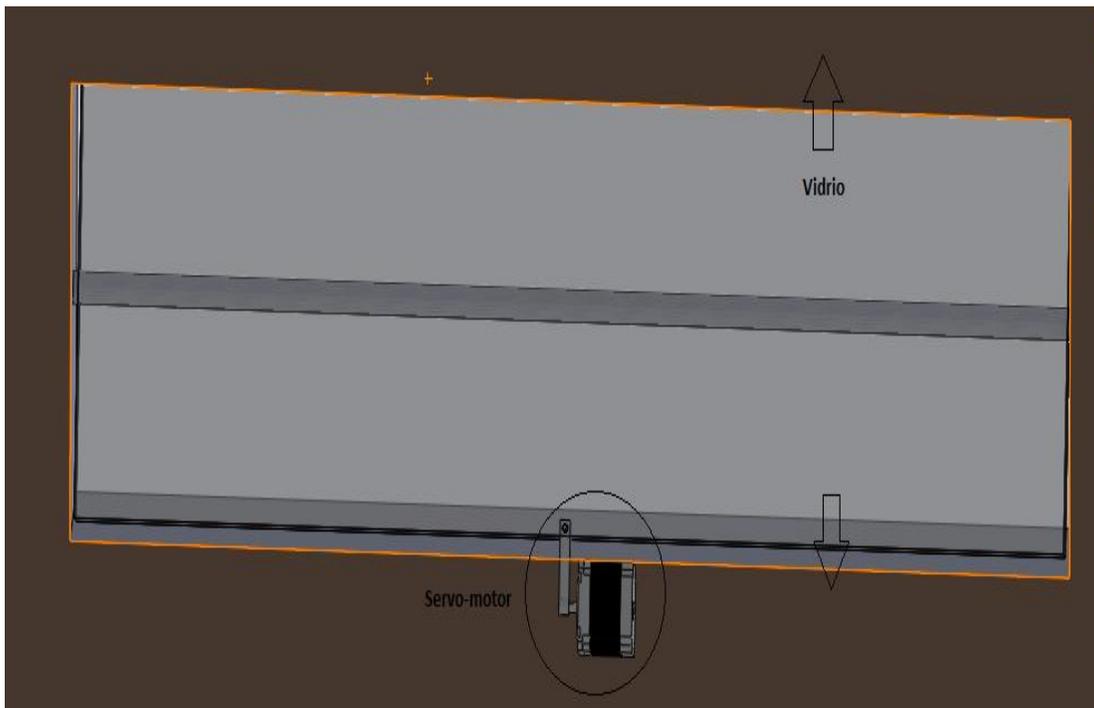
Tabla 3: Características de techo en vidrio.

Características de techo en vidrio.	
Figura formada	Triangulo Isósceles.
Ancho	15 metros.
Largo	15 metros.
Altura	1.75 metros.
Angulo entre vértices	160°.

Fuente: Autor.

Ventanas de escape (3):

Figura 6: Mecanismo de apertura de ventana.



Fuente: Autor.

Mediante el uso de una serie de servo motores se dará apertura a ventanas que se encontraran ubicadas en las paredes (véase figura 6), estas permitirán el escape de aire caliente cuando la temperatura del recinto llega a su punto crítico o cuando se da el tiempo de reacondicionamiento de la temperatura, para otro ciclo de secado. Este mecanismo también se realiza con el objetivo de reemplazar y economizar la energía requerida por motores expulsores de aire.

Figura 7: Servo motor Goteck.



Fuente: Tomado de Didácticas Electrónicas [4].

En la tabla se muestran las características de operación adecuada para el servo motor (véase figura 7).

Tabla 4: Características de operación de Servo Motor.

Principales Características Servo Motor Goteck.	
Voltaje de operación	4.8V DC ~ 6.0V DC
Torque	2.3 kg-cm (4.8V) 2.5 kg-cm (6.0V)
Velocidad de funcionamiento	0.10sec/60 (6V), 0.11sec/60 (4.8V)
Tipo señal	Análoga
Rango	170°
Dimensión	23x12.1x28.8mm
Peso	14,7 g
Longitud del cable	180 mm

Fuente: Autor.

Moto ventilador con resistencias y ductos para el calentamiento del aire (4):

La energía calorífica que brindan los rayos de luz al día en promedio, los cuales se usan para la reducción de la humedad en los granos no es constante, lo que hace retardar el proceso de secado y como consecuencia para los productores es la demanda de más mano de obra. Dadas las anteriores problemáticas en el diseño se decide hacer la implementación de un motor de ventilación, encargado de generar corrientes de aire, los cuales al atravesar unas resistencias disipadoras de energía, aumentan su temperatura y por medio de ductos llegan al recinto contenedor.

El motor de ventilación debe suministrar el flujo de aire necesario (véase figura 8), para que el proceso en todo momento se vea alimentado de aire para calentar y así ser un proceso eficiente. El motor a utilizar se basa mediante la siguiente ecuación de la potencia para un mecanismo giratorio [6]:

Ecuación 1: Potencia absorbida por un ventilador.

$$P = Q \cdot Pr \cdot \frac{9,81}{1,000 n}$$

Fuente: Eficiencia Energética en Motores Eléctricos [6].

Donde:

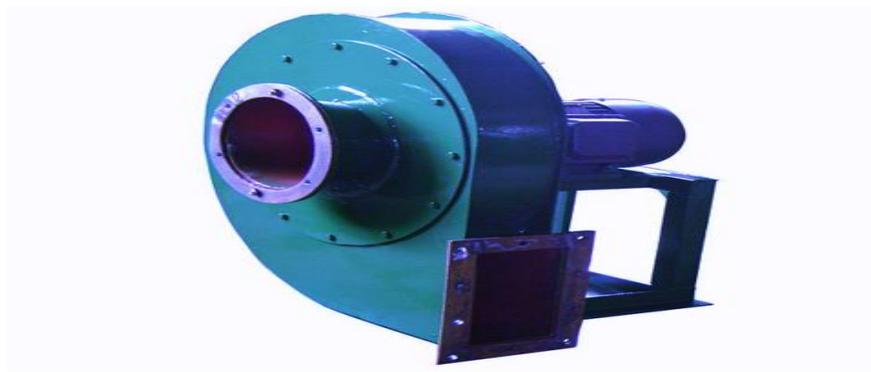
P= Potencia en KW.

Q= Caudal en m³/s.

Pr= Presión en mm en columna de agua.

n= Rendimiento mecánico.

Figura 8: Motor de ventilación.



Fuente: HBA [11].

Las características de funcionamiento para el motor de ventilación están dadas en la tabla 5.

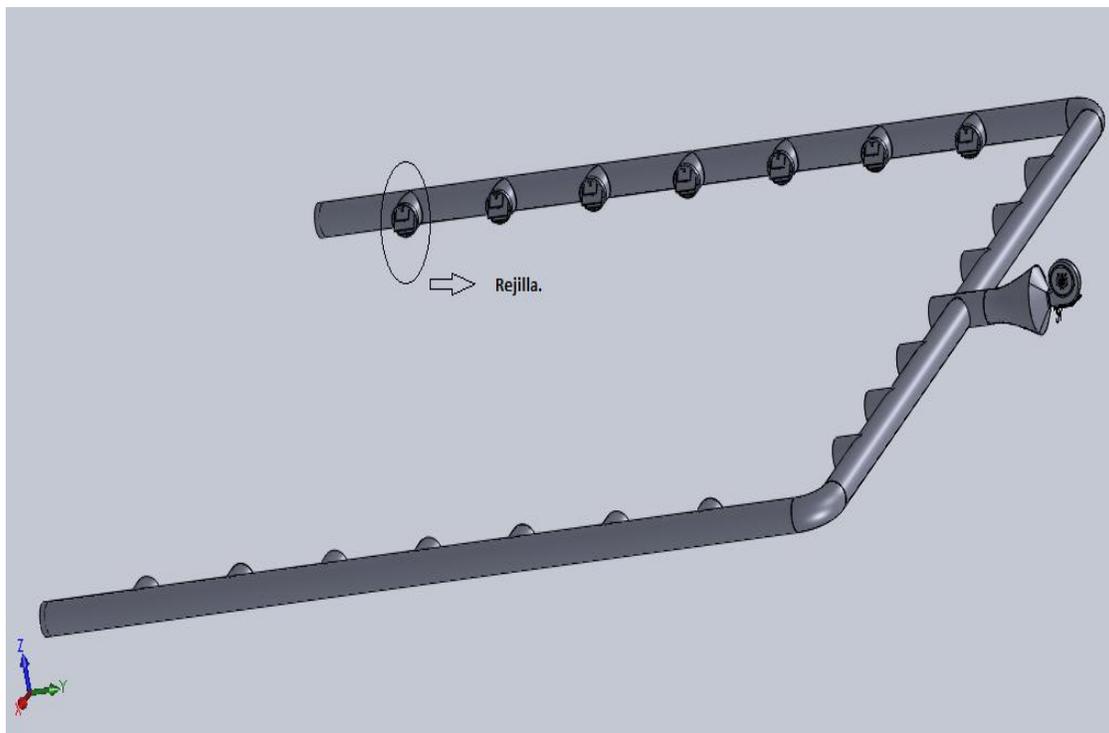
Tabla 5: Principales características Motor de Ventilación.

Principales Características Motor de Ventilación.	
Voltaje de operación	220 V
Flujo	2349-4437 m ³ /h
Presión	3490-4460
Potencia	5.0 KW
Velocidad de funcionamiento	2750 RPM
Temperatura normal	50 °C
Temperatura Máxima	80 °C
Potencia	1,5 HP

Fuente: Autor.

Los ductos de alimentación de aire caliente están distribuidos alrededor de todo el recinto, para que el suministro de aire sea proporcionado en todos los sentidos que se requiere para el secado (véase figura 9).

Figura 9: Ductos de ventilación.



Fuente: Autor.

Las dimensiones de los ductos están dados por:

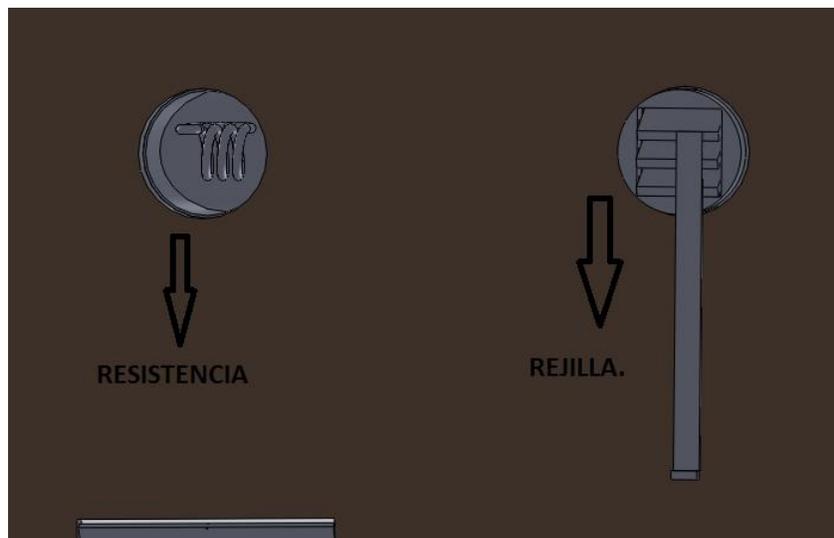
Tabla 6: Características ductos de ventilación.

Características ductos de ventilación.	
Diámetro de la tubería	20 pulgadas.
Longitud de tubería	15 metros.
Distancia entre cada orificio de escape	1,875 metros.
Diámetro boca de ducto receptor	40 pulgadas.
Número de tubos	3 unidades.

Fuente: Autor.

Las resistencias disipadoras a usar con este diseño son las observadas en la figura 10 y sus descripciones en la tabla 7, las cuales serán las encargadas de disipar el calor para el calentamiento del aire.

Figura 10: Resistencia para el calentamiento de aire.



Fuente: Autor.

Para hallar las resistencias adecuadas para que disipe el calor necesario se debe consultar datos del fabricante tales como: resistencia térmica de unión a caja, resistencia térmica del encapsulado al disipador, resistencia térmica a conducir en el ambiente y la temperatura ambiente [12].

Tabla 7: Características resistencia disipadora de calor.

Características ductos de ventilación.	
Potencia	1000 W.
Resistencia térmica de unión a caja	1,52 °C/W
Resistencia térmica del encapsulado al disipador	0.12 °C/W
Resistencia térmica a conducir en el ambiente	1.16 °C/W
Temperatura ambiente	23 °C

Fuente: Autor.

2.2. Diseño de elementos para el proceso de trillado:

Tambores trituradores (5):

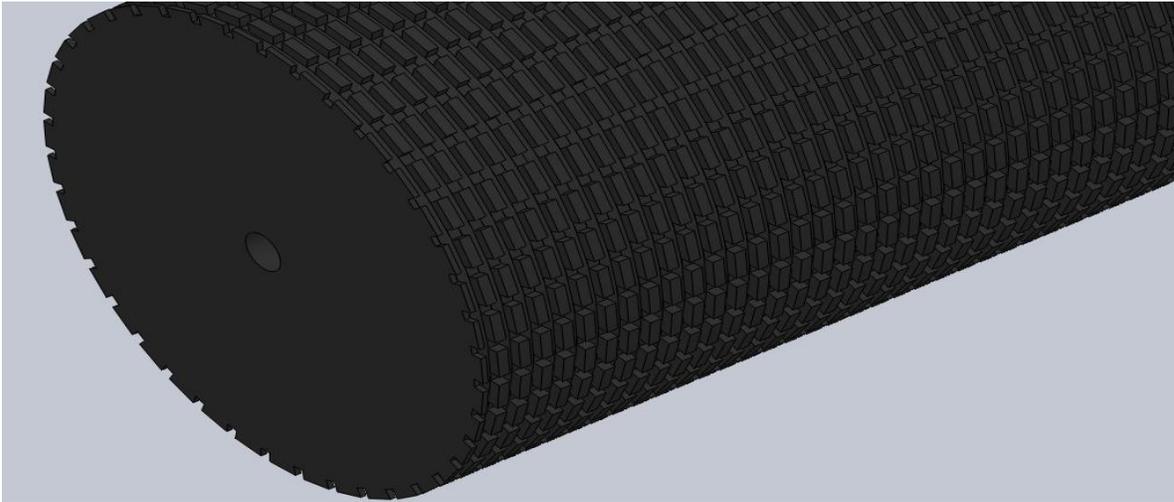
El objetivo final de un proceso de trillado, es garantizar que la integridad física de los granos sea la adecuada para las etapas posteriores a la cual se está desarrollando. Con lo anterior se puede ayudar a la obtención de un buen precio a la hora de la venta y a una mayor prolongación en el tiempo de almacenamiento.

El proceso de manera artesanal, el cual se da por el aporreo de las vainas con un palo, actualmente representa gran demanda de energía física para el agricultor y como consecuencia final el grano es de baja calidad, gracias a la cantidad de fisuras que este proceso genera. En el diseño del tambor triturador se tiene en cuenta la reducción del esfuerzo del agricultor y la calidad del grano en su disposición final.

Las funciones que presta el triturador es que mediante una superficie blanda y con orificios en toda la circunferencia, permita que la cascara de las vainas al estar en un estado frágil por su baja humedad, se desintegre por el contacto generado entre las vainas al pasar en medio de dos tambores con las mismas condiciones antes mencionadas (véase figura 11). Con la intención de optimizar este proceso se diseña el uso de un moto-reductor para que las revoluciones de los tambores sean bajas y así se dé lugar a la trituración de cada una de las vainas.

Los orificios que se encuentran en toda la superficie del tambor, están dados a dimensión más grande que la de un grano de frijol. El tamaño de un grano de frijol normal está comprendido en un ancho de 0,5 centímetros y un largo de 1 centímetro. Al diseñarse orificios más grandes permitirá que los granos al pasar por el tambor se incrustaran en ellos y así se deforme fácilmente la cascarilla.

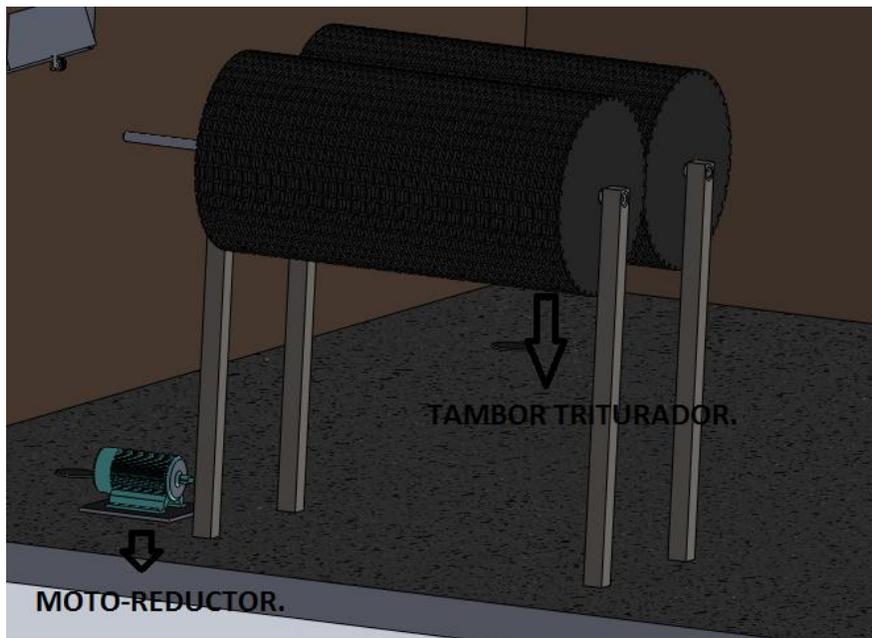
Figura 11: Tambor triturador.



Fuente: Autor.

En complemento a la función que presta el tambor y con unos ejes en este, en el diseño se da movimiento a los tambores por medio de un moto-reductor (véase figura 12), para que las revoluciones sean bajas y así cumplir con la finalidad del proceso de trillado.

Figura 12: Mecanismo de trituración.



Fuente: Autor.

Para cumplir con el objetivo final del proyecto, se da el uso de cuatro tambores (véase figura 12). Cada tambor tiene las siguientes características tanto físicas como de materiales:

Tabla 8: Características del tambor triturador.

Características de Tambor triturador.	
Forma	Cilindro
Diámetro	1 metro
Diámetro orificio superficie	2 cm
Profundidad	2 metros
Material	Polímero

Fuente: Autor.

El moto-reductor a usar en el diseño deberá contar con el torque necesario y las revoluciones adecuadas para el movimiento de los tambores de trituración (véase tabla 8), por lo anterior el moto-reductor a emplearse se establece mediante la siguiente ecuación de potencia absorbida por un ventilador [6]:

Ecuación 2: Potencia de un motor para mecanismo giratorio.

$$P = M \cdot \frac{N}{9,550n}$$

Fuente: Eficiencia Energética en Motores Eléctricos

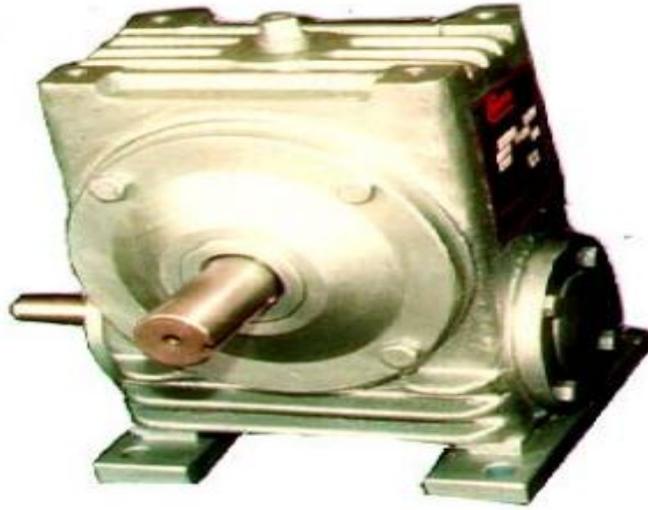
Donde:

P= Potencia mínima del motor en KW.

M= Par de giro en Nm.

N= Revoluciones por minuto.

Figura 13: Moto-reductor UGS-63.



Fuente: Raisa [11].

Las principales características para una adecuada operación del moto-reductor están descritas en la tabla 8.

Tabla 9: Principales características Moto-reductor.

Principales Características Moto-reductor.	
Tipo de motor	Monofásico
Voltaje de operación	220V
Factor de servicio	1,5
Potencia requerida	1,5 HP
Relación	25:1
Modelo RAISA	UGS-63
Revoluciones de salida	1750 rpm
Revoluciones de entrada	70 rpm

Fuente: Autor.

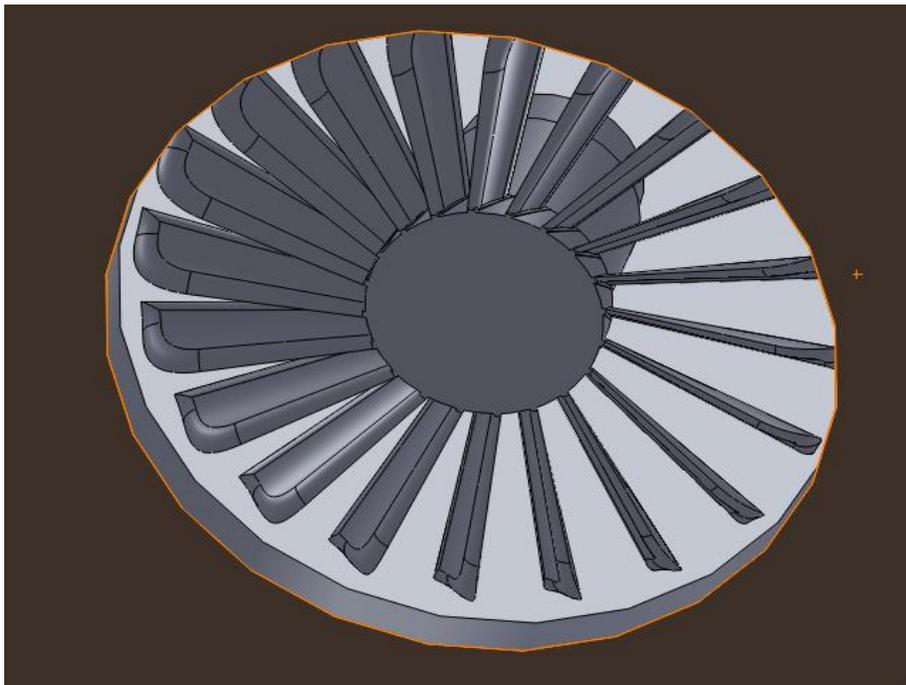
2.3. Diseño de elementos para el proceso de separación de suciedades (6):

El mercado del frijol en los últimos años, como todo el mercado en general de productos alimenticios, está demandando una gran higiene y pureza de los elementos a comercializar. En la actualidad uno de los productos alimenticios que mayor impurezas presenta a la hora de preparar en la cocina, son los granos de frijol, los cuales en su empaquetamiento están acompañados de restos de cascara del mismo, piedras y otros elementos.

Para eliminar toda suciedad que pueda estar presente entre los granos de frijol, en el diseño se decide usar una moto-ventilador (véase figura 14), el cual con un flujo de aire preestablecido ayude a quitar toda suciedad liviana que pueda haber. El flujo de aire, debe estar ajustado para que los granos de frijol no sean desplazados del trayecto que llevan a la plancha de separación, donde se quitan los residuos de mayor tamaño y peso.

El motor de ventilación para la separación de las suciedades es el siguiente:

Figura 14: Motor de ventilación para separación de suciedades.



Fuente: Autor.

Los parámetros para que el motor de ventilación tenga un buen desempeño dentro del proceso se dan en la tabla 9. Para hallar el mejor prototipo de motor que más se acomode al proceso se baso en la siguiente ecuación de potencia absorbida por un ventilador [6]:

Ecuación 3: Potencia necesaria en una máquina.

$$P = Q.Pr. \frac{9,81}{1,000 n}$$

Fuente: Eficiencia Energética en Motores Eléctricos [6].

Donde:

P= Potencia en KW.

Q= Caudal en m³/s.

Pr= Presión en mm en columna de agua.

n= Rendimiento mecánico.

Tabla 10: Principales características Motor de ventilación.

Principales Características Motor de Ventilación.	
Voltaje de operación	220 V
Flujo	2349-4437 m ³ /h
Presión	3490-4460
Potencia	5.5 KW
Velocidad de funcionamiento	2900 RPM
Temperatura normal	50 °C
Temperatura Máxima	80 °C
Potencia	1,5 HP

Fuente: Autor.

3. Identificación de las variables.

Las variables dentro del proceso juegan un papel de suma importancia, ya que como es antes mencionado, para la obtención de un buen grano de frijol se deben manejar varios aspectos que lo lleven a un estado casi ideal para el almacenamiento. Se puede decir que cada variable interpone un nivel de calidad donde están asociadas directamente. A continuación se explicara cada una de las relaciones y de qué manera se hará el diseño para la observación en el cambio de cada una.

3.1 Humedad relativa:

Esta variable es la más representativa dentro del proceso, esta debe ser determinada desde que el grano viene en la vaina del cultivo hasta que sale para ser empacado, ya que por su rango tan estrecho casi limitado, hace que sobre ella se concentre la mayoría de los esfuerzos para obtenerla en el punto exacto, actualmente los agricultores manejan métodos muy empíricos para la obtención de este valor, lo que hace en ocasiones tomar datos erróneos con respecto al estado actual de los granos de frijol.

Los métodos existentes y más rudimentarios que los agricultores de menos poder adquisitivo emplean, son los siguientes:

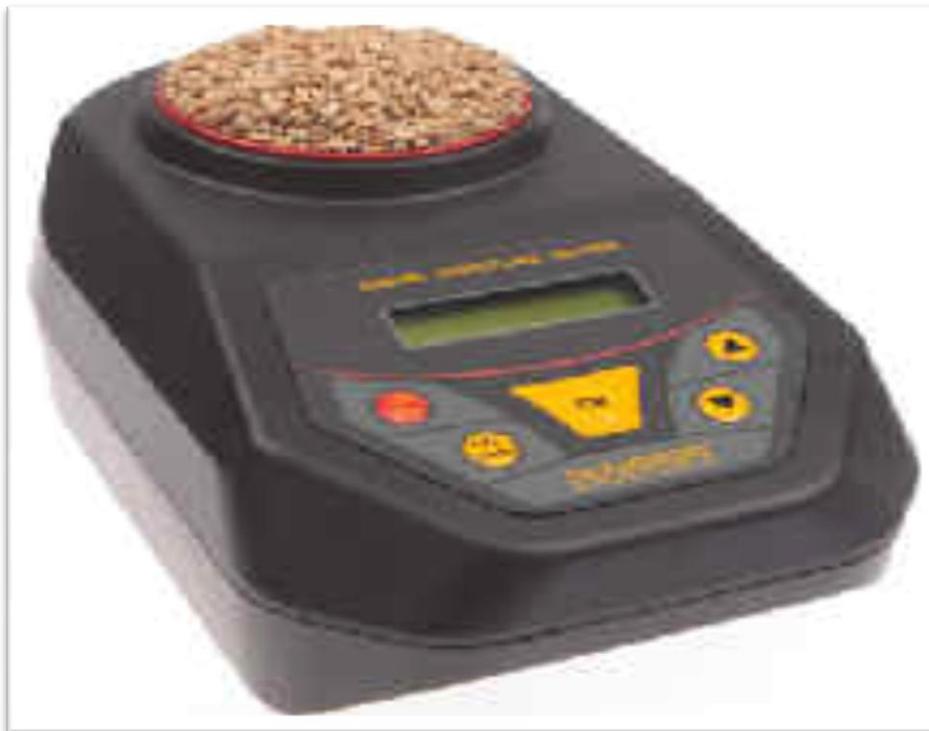
- Mediante la uña del agricultor, cuando esta no rompe la corteza del grano es porque esta apta para el almacenamiento.
- Mediante el sonido, los agricultores hacen rebotar los granos contra una superficie dura y dependiendo del sonido emitido, se determina el estado de la humedad.

Otros métodos que los agricultores con una parte de conocimiento en la tecnología para la medición de la humedad son:

- Método por medio de los pesos: Por experiencia de los agricultores determinan que los granos llegan con una humedad de alrededor del 70% del cultivo, y gracias al método que consiste en la puesta al calor de determinada cantidad de frijol previamente pesada, después de un tiempo al final del ciclo se toma de nuevo el peso. Para conocer la humedad se hace una relación entre el inicial y el final, y el resultado lo divide por el final para la obtención del porcentaje. A medida que se hacen estos registros se determina la humedad necesaria.
- Método por equipos eléctricos: Estos basan su funcionamiento mediante la resistencia eléctrica, según una alimentación suministrada la cual pasa por el grano a analizar se crea un diferencial de potencial, la caída del potencial eléctrico se interpreta como un porcentaje de la humedad relativa existente.

En el diseño del proyecto automático para el secado y desgrane de frijol es recomendado manejar un equipo electrónico de carácter capacitivo, el cual pueda entregar datos cercanos a la muestra requerida, con un error no superior al 5%, otro aspecto importante con el que debe cumplir el dispositivo es la entrega del resultado en tiempo inmediato. Además es recomendado que el dispositivo funcione bajo condiciones ideales tales como: tensión de alimentación, corriente, mantenimiento adecuado, etc.

Figura 15. Medidor de humedad en granos dr-gmm.



Fuente: Tomado de Solo Stocks [8].

El medidor de humedad en los granos al ser de un valor comercial alto y al darse una alta tecnología en el, es de vital importancia resaltar las propiedades de funcionamiento (véase tabla10).

Tabla 11: Características medidor de humedad en granos.

Características medidor de humedad en granos.	
Voltaje	9 V
Dimensiones	19cm x 15cm x 9cm
Error	1%
Rango de operación	0 a 40 % de humedad
Tiempo de respuesta	1 segundo
Medio de funcionamiento	Digital

Fuente: Autor.

Tabla 12: Características sensor de temperatura.

Características sensor de temperatura.	
Numero de pines	3
Voltaje máximo	30 V
Voltaje mínimo	4 V
Rango de operación	-55 °C a 150 °C
Equivalencia	1 °C = 10 mV
Impedancia	Baja
Costo	Bajo

Fuente: Autor.

3.3 Caudal de aire:

El garantizar que la limpieza de los granos de frijol se dé, permite tener buenos dividendos con respecto a la venta de este. Por lo cual en la finalidad del diseño se busca generar un flujo de aire constante, pero equivalente a la masa de los granos de frijol que atraviesan estos.

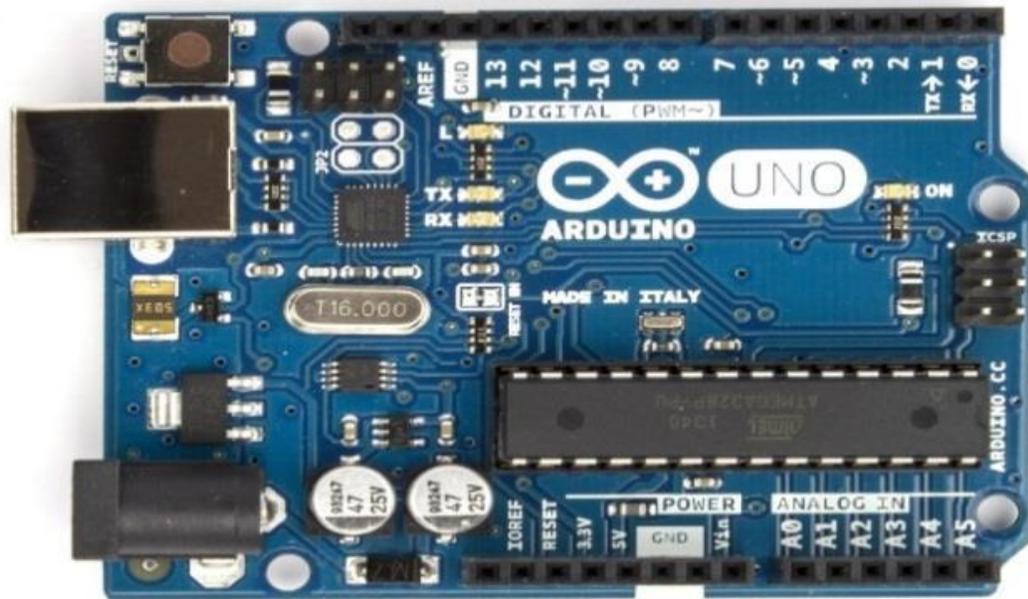
Conocer cada una de los elementos que se pueden mezclar entre los granos de frijol tales como piedras, trozos de tierra, restos de cascara, animales muertos, entre otros. Permitirá identificar el modelo adecuado o al motor de ventilación.

El accionamiento de este elemento se da cuando las etapas de secado y trillado ya están cumplidas por completo en los granos a limpiar. De ser necesario los granos que estén todavía en las vainas deben ser de nuevo trillados para su obtención.

4. Descripción programa en plataforma arduino para el control del proceso:

La necesidad de cumplir con el nombre planteado de proceso automático para el secado y desgrane del frijol, lleva a que otro objetivo de la investigación desarrolle un programa para la plataforma arduino, con la cual se puedan establecer condiciones que permitan que las reglas iniciales para obtener un grano de frijol idóneo se cumplan. Las actividades a desarrollar con la plataforma son de carácter condicional, comprendidas en la elaboración de un código (véase figura 19) que permita accionar cada uno de los elementos que integran el proceso.

Figura 17: Arduino Uno.



Fuente: Tomado de Arduino [7].

Las especificaciones tanto de conexiones como de operación de la plataforma arduino están detalladas en la tabla 12.

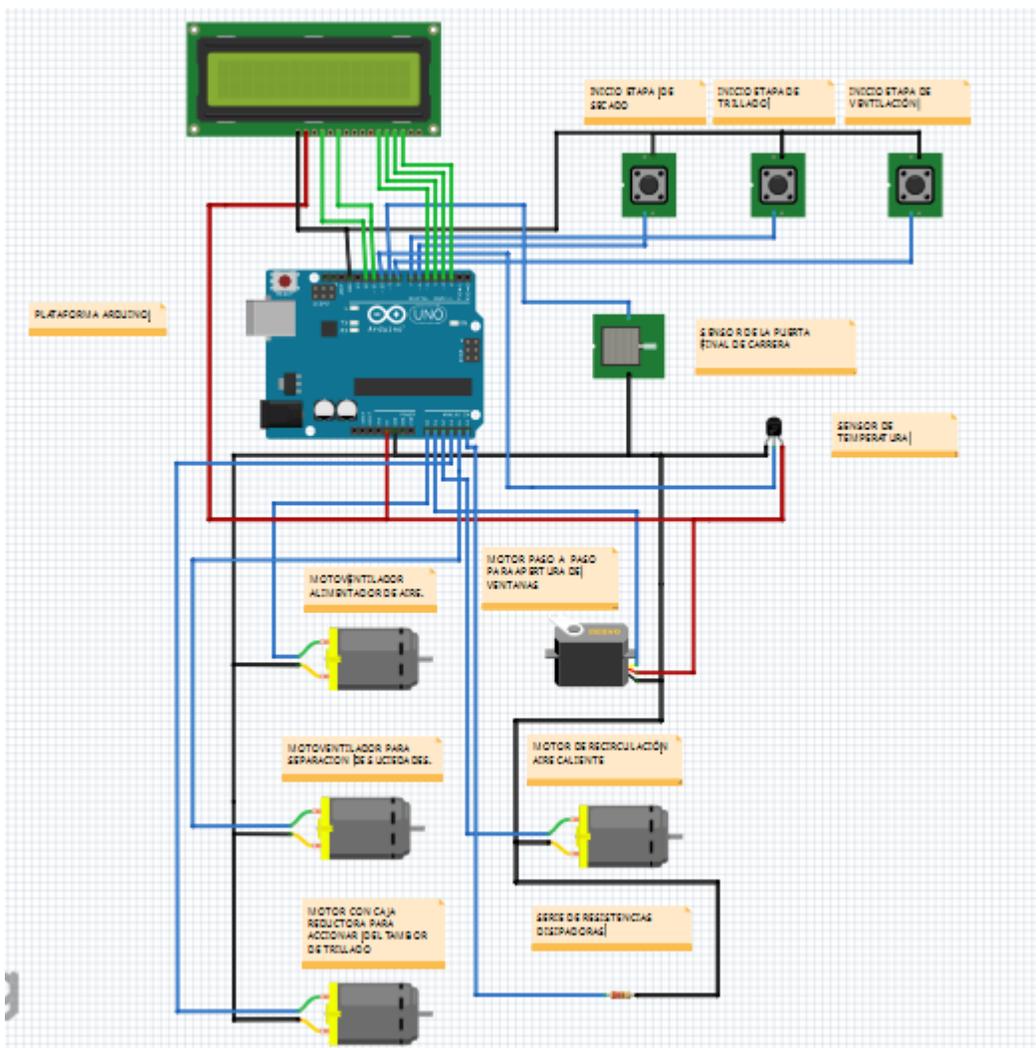
Tabla 13: Características de funcionamiento plataforma Arduino.

Características Arduino Uno.	
Micro controlador	Atmega328
Voltaje operación	5V/3.3V
Corriente DC por Pin I / O	40mA
Velocidad de respuesta	16 MHz
Pines entradas análogas	6 pines
Pines I/O digital	14 (6 con PWM)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB utilizado por gestor de arranque

Fuente: Autor.

Gracias a las bondades que brinda la plataforma arduino se hace la activación de los motores de ventilación, la energizada de las resistencias disipadoras, la activación de los moto-reductores para el movimiento de los tambores y la apertura de ventanas para la ventilación. Lo anterior se logra mediante el diseño de un programa en el software que provee el vendedor de la plataforma. El programa se debe hacer en programación C, lo cual ayude a la apertura de puertos para activación o cierre de los mismos (véase figura 18).

Figura 18: Diagrama de elementos eléctricos.



Fuente: Autor.

La descripción del programa es la siguiente:

- Para hacer lo inicial, se deben declarar cada uno de los elementos que se usan en el proceso como variables dentro del programa. Estos deben estar asignados a un pin en de la plataforma (véase figura), además se deben establecer si son entradas o salidas para determinar la configuración de los puertos, ya sean digitales o análogos (véase figura 19).
- El segundo paso es incluir librerías que permitan desarrollar el programa de una manera más corta y que el proceso de creación del mismo sea más fácil de escribir y entender por el operario (véase figura 19).
- El tercer paso está asociado al crear una serie de condicionales que permitan que los elementos a usar en el proceso se energicen en el momento indicado, con la finalidad de no interrumpir otra parte del proceso y el ahorro de energía (véase figura 19).
- El cuarto paso se da en las conexiones de los elementos con la plataforma, es de suma importancia resaltar que se debe tener en cuenta el tipo de conexión que debe tener cada uno de estos (véase figura 18).

Figura 19: Ilustración programa en plataforma Arduino.

```
sketch_jan19a $
const int M1=A0;
const int M2=A1;
const int M3=A2;
const int M4=A3;
const int M5=A4;
const int R1=A5;
const int B1=6;
const int B2=7;
const int B3=8;
const int S1=9;
const int T1=10;
const int numfilas = 2; // se define el número de filas para la pantalla lcd
const int numcolumn = 16; // se define el número de columnas para la pantalla lcd
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // pines a los cuales se debe conectar la lcd
void setup ()
{
  lcd.begin(numcolumn, numfilas); //se inicializa la pantalla lcd
  lcd.print("Proc. de Frijol"); //mensaje de presentación
  pinMode(M1,OUTPUT); //declaramos M1 como una salida
  pinMode(M2,OUTPUT); //declaramos M2 como una salida
  pinMode(M3,OUTPUT); //declaramos M3 como una salida
  pinMode(M4,OUTPUT); //declaramos M4 como una salida
  pinMode(M5,OUTPUT); //declaramos M5 como una salida
  pinMode(R1,OUTPUT); //declaramos R1 como una salida
  pinMode(S1,INPUT); //declaramos S1 como una entrada
  pinMode(B1,INPUT); //declaramos B1 como una entrada
  pinMode(B2,INPUT); //declaramos B2 como una entrada
  pinMode(B3,INPUT); //declaramos B3 como una entrada
}
```



Declaración de cada elemento del proceso.



Conexión de cada elemento por entradas y salidas.

Fuente: Autor.

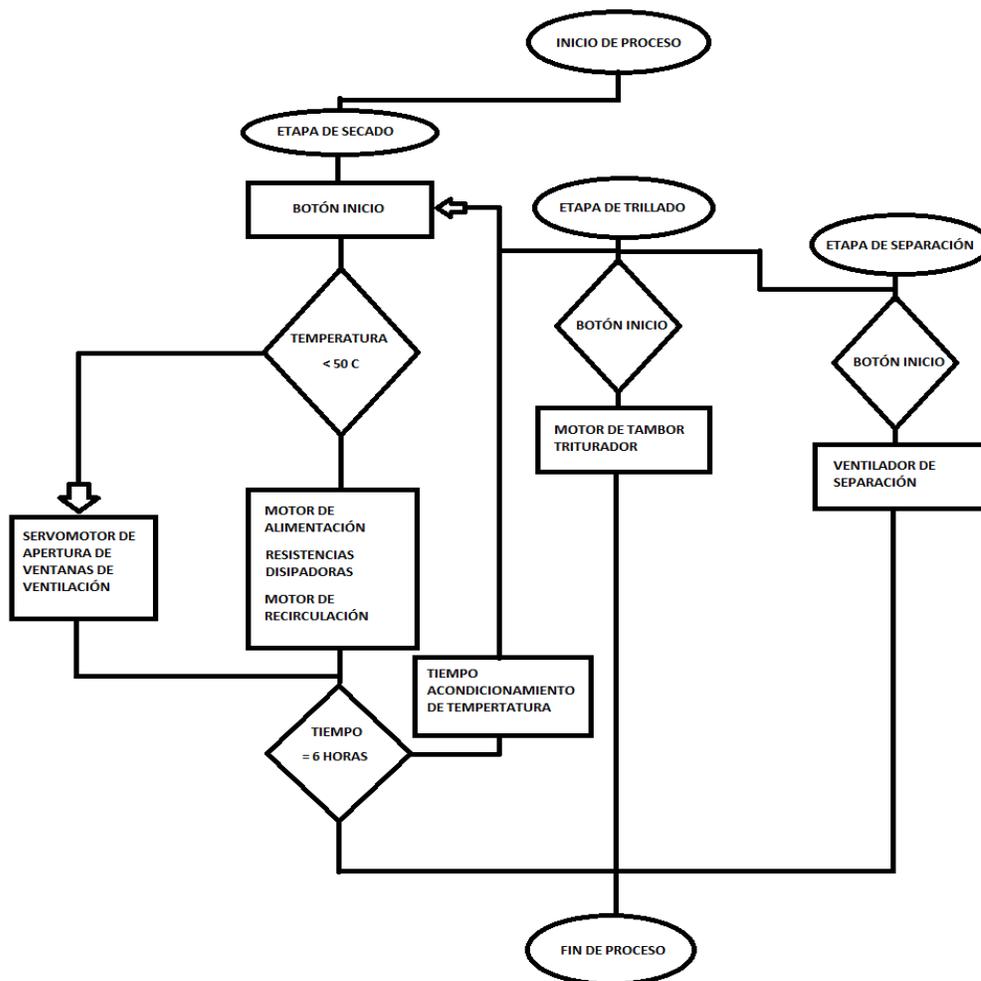
Tipos de accionamiento:

Teniendo en cuenta la cantidad de elementos que se tienen para controlar, se hace necesario acondicionar un medio individual para cada uno de ellos. Los tipos son:

- Los motores implicados en el proceso, se accionaran mediante relés, los cuales a la hora de encender el motor, lo harán por medio de la plataforma la cual excita una bobina que conmuta a la tensión necesaria para el funcionamiento de estos. De la misma manera se energizara las resistencias disipadoras.

Secuencia de programa.

Figura 20: Diagrama de flujo, proceso de pos cosecha del frijol.



Fuente: Autor.

El funcionamiento del programa se inicia cuando el interruptor de encendido para la etapa de secado en el recinto esta oprimido, a su vez se encargara de suministrar la tensión al motor de ventilación para crear el flujo de aire necesario, al ser creado el flujo pasa por unas resistencias disipadoras de calor las cuales al inicio del proceso en el programa están energizadas y para un mejor aprovechamiento del aire caliente se energizan dos motores de ventilación para hacer la recirculación del aire (véase figura 20).

Después de iniciado el programa se mantiene en constante monitoreo la temperatura por medio de un termómetro digital para que no sobre pase el punto crítico; de sobrepasarse el programa cortara el suministro de tensión tanto al motor de ventilación como a las resistencias disipadoras, pero energizara un servo motor que desplazara unas ventanas para el escape del aire caliente.

El programa sigue en permanente observación pero ya a la disminución de la temperatura, cuando esta se encuentra por debajo del punto crítico de nuevo se energiza el motor de ventilación y las resistencias disipadoras, y el servo motor se des energiza para la conservación de la temperatura. El programa se diseña en base a periodos de proceso de seis horas, determinadas en el programa; lo que indica que a las seis horas que el programa desconecta el suministro de tensión a cualquier elemento que pudiese estar en conexión. El proceso se reanuda después de un tiempo de una hora, donde se realiza el reacondicionamiento de la temperatura y se hace la lectura de la humedad en los granos de frijol (véase figura 20).

La verificación de la humedad relativa se hace después de que la temperatura ha rebajado a la del ambiente, el elemento medidor de humedad no está asociado a la plataforma de arduino directamente, la relación se da mediante un interruptor que es manipulado por el operador cuando la humedad esta en el punto esperado.

Cuando la humedad es la ideal, por medio del interruptor que lo indica y con uno adicional para el encendido del moto-reductor, el programa energiza el motor para el movimiento del tambor triturador y el motor de ventilación para la separación de las suciedades. Después de trilladas todas las vainas de frijol el operario desenclava el interruptor de encendido del motor para el apagado de ambos elementos y crear un ahorro de energía (véase figura 20).

Por último los granos deben ser retirados del recinto, para poder empezar de nuevo otro proceso que se desarrollara de la misma manera como se describe anteriormente. Y así convertir este diseño en un proceso competitivo y capaz de responder a grandes escalas de producción.

5. ANÁLISIS DE COSTO.

Para la realización del proyecto se deben adquirir diferentes elementos, los cuales están comprendidos en infraestructura, elementos mecánicos, elementos eléctricos, elementos electrónicos y para la parte de la mano de obra se debe contar con tres tipos de profesionales (técnico, tecnólogo e ingeniero). Para determinar el precio de cada uno de ellos se investigan los precios de proveedores y el cobro de la mano de obra en la región.

5.1 Componentes eléctricos.

Tabla 14: Componentes eléctricos.

Componentes eléctricos.		
Elemento	Cantidad	Precio
Motor de ventilación	1	\$1'600.000
Servo motor	18	\$1'405.000
Motor de recirculación	1	\$1'200.000
Resistencias disipadoras	20	\$340.000
Moto-reductor	1	\$1'175.244
Motor de ventilación	1	\$1'500.000
Pulsadores	4	\$60.000
Sensor final de carrera	1	\$30.000
	TOTAL=	\$7'310.244

Fuente: Autor.

5.2 Elementos mecánicos.

Estos se comprenden como los elementos que ayudan a los elementos eléctricos a realizar su funcionamiento.

Tabla 15: Presupuesto elementos mecánicos.

Componentes eléctricos.		
Elemento	Cantidad	Precio
Lamina de plancha	46	\$3'320.000
Tubería de plancha	8	\$1'200.000
Zaranda de separación	1	\$150.000
Vidrios de escape	12	\$180.000
Vidrios de techo	32	\$640.000
Escalas	1	\$250.000
Puerta	1	\$500.000
	TOTAL=	\$6'240.000

Fuente: Autor.

5.3 Mano de obra.

Para el cálculo del costo de la mano de obra, primero se debe conocer cuáles son las tarifas actuales determinadas por el gobierno de Colombia, con esto se podrá calcular el tiempo en horas y así asignarse el valor preciso por la prestación del servicio profesional.

La formación técnica en Colombia en promedio devenga un salario mensual de \$901.026 pesos. Al hacerse el cálculo la hora de trabajo tiene un costo de \$4380,29 pesos.

La formación tecnológica en Colombia en promedio devenga un salario mensual de \$1'030.724 pesos. Al hacerse el cálculo la hora de trabajo tiene un costo de \$5010,81 pesos.

La formación de ingeniería en Colombia en promedio devenga un salario mensual de \$1'378.027 pesos. Al hacerse el cálculo la hora de trabajo tiene un costo de \$6699,20 pesos.

Tabla 16: Presupuesto de mano de obra

Presupuesto mano de obra.			
Trabajo a realizar	Profesión	Horas laboradas	Precio
Adaptación de elementos eléctricos.	Técnico profesional en Mecatronica.	40	\$175.211
Implementación de protecciones y líneas de alimentación.	Tecnólogo profesional en Mecatronica	48	\$250.518
Supervisión e implementación de la programación.	Ingeniero en Mecatronica.	88	\$589.530
		TOTAL=	\$1'015.259

Fuente: Autor.

5.4 Presupuesto final.

Tabla 17: Presupuesto final.

Presupuesto final	
Elemento eléctricos	\$7'310.244
Elementos mecánicos	\$6'240.000
Mano de obra	\$1'015.259
Total	\$14'565.773

Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones:

- El control de la humedad en los granos de frijol a un punto del 14% como se establece por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), permitirá que el periodo de almacenamiento sea más largo y por ende las propiedades fisiológicas del grano se conserve en el estado más óptimo.
- Con este diseño la toma de decisiones por parte humana se verá reducida, ya que la función es básicamente la de estar en la observación de cada operación que se dé dentro del proceso.
- Con un mínimo de cambios en los elementos que configuran el proceso automático de secado y desgrane de frijol, se puede realizar el mismo proceso para otros tipos de leguminosas que requieren el mismo proceso.
- Se resalta la incursión de la Mecatrónica en el área de la investigación de las actividades agrícolas, representado en un diseño que se caracteriza por la innovación. Estableciendo nuevos horizontes a un nuevo campo de acción para esta disciplina que cada día ayuda a solucionar los problemas de la sociedad de una manera simple pero efectiva.

Recomendaciones:

- Diseñar un medio de supervisión alternativo al recinto donde se realice el proceso, para evitar el sometimiento del operario a temperaturas que puedan afectar la salud dentro de la etapa de secado.
- Se hace necesario para modificaciones, la adquisición y diseño mecánico del proyecto en un software libre, ya que para el diseño del proyecto se utilizó software licenciado por la Universidad, ayudando así a la reducción de los costos de diseño del proceso.

7. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Imagen Principales Productores de Frijol en el Mundo, 2000-2010. [EN LINEA]. [Citado el 20 de Octubre de 2014]. Disponible en < http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf >
- [2] Imagen Principales productores de frijol en Colombia. . [EN LINEA]. [Citado el 25 de octubre de 2014]. Disponible en < http://www.fenalce.org/archivos/Coyuntura_Frijol.pptx.pdf >
- [3] Tabla Área de producción y rendimiento de frijol en Colombia 2011-A. [EN LINEA]. [Citado el 5 de noviembre de 2014]. Disponible en < http://www.fenalce.org/archivos/Coyuntura_Frijol.pptx.pdf >.
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Departamento de Agricultura. Manual de manejo pos cosecha de granos a nivel rural. [EN LINEA]. [Citado el 2 de noviembre de 2014]. Disponible en < <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S02.htm> >.
- [5] Imagen servo motor Goteck. [EN LINEA]. [Citado el 25 de octubre de 2014]. Disponible en < http://www.didacticaselectronicas.com/components/com_virtuemart/shop_image/product/resized/Goteck_micro_met_51a674cdc2732_90x90.jpg>
- [6] Proyecto de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME) y el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología COLCIENCIAS. Eficiencia Energética en Motores Eléctricos. [EN LINEA]. [Citado el 12 de enero de 2015]. Disponible en < <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf> >
- [7] Imagen moto-reductor UGS-63. [EN LINEA]. [Citado el 10 de enero de 2015]. Disponible en < <http://www.raisaslp.com.mx/Catalogo.pdf> >.
- [8] Imagen Medidor de humedad en granos dr-gmm. [EN LINEA]. [Citado el 30 de octubre de 2014]. Disponible en < <http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/medidores-electricidad/medidores-bateria/medidores-de-humedad-en-materiales-medidor-de-humedad-en-granos-dr-gmm-1402419> >
- [9] Imagen Sensor de temperatura LM35DZ. [EN LINEA]. [Citado el 10 Enero de 2015]. Disponible en < <http://multilogica-shop.com/sensor-de-temperatura-lm35> >.
- [10] Imagen Arduino Uno. [EN LINEA]. [Citado el 30 de octubre de 2014]. Disponible en < http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg >.

[11] Imagen Motor de ventilación. [EN LINEA]. [Citado el 5 de enero de 2015]. Disponible en < <http://flourmill-plant.es/1-6-5-centrifugal-blower.html/113226> >

[12] RASHID Muhammad, RASID Muhammad, GONZALES Virgilio, SUÁREZ FERNÁNDEZ Pozo Agustín. Electrónica de Potencia. Pearson Educación. 2004.

[] Montoya V. José Lucinio. El ingeniero eléctrico de planta. Universidad Tecnológica de Pereira. 1997.

[] ARIAS RESTREPO Jesús Hernando, RENGIFO MARTÍNEZ Teresita, JARAMILLO CARDONA Maribel. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. Primera edición. Colombia 2007.

[] FENALCE. El cultivo del frijol, historia e importancia. [EN LINEA]. [Citado el 5 de noviembre de 2014]. Disponible en < http://www.fenalce.org/arch_public/frijol93.pdf >