



Desarrollo de un prototipo secador solar de café tipo parabólico semi automatizado para 50kg: finca Villa Carolina, Buesaco, Nariño

Rosero Harold, Cisneros Kevin

Ingeniería mecánica, corporación universitaria autónoma de Nariño, Pasto – Nariño

Resumen – El siguiente proyecto muestra el desarrollo investigación para la construcción de un prototipo secador de café el cual será de gran aporte al sector caficultor de Buesaco Nariño. Siguiendo las prácticas de ingeniería se obtiene un prototipo el cual cumple con las características para obtener un secado de café óptimo para el pequeño caficultor donde disminuye el tiempo de secado y aumenta en gran cantidad la producción de café seco para su siguiente proceso de tostado.

Índice de términos - Grano de café, secador solar, diseño estructural, controlador de temperatura, voltaje de alimentación, zona de ubicación del prototipo

El objetivo general del trabajo comprende implementar un sistema de secado para el grano de café mediante camas vibratorias y recolección de energía solar por medio de celdas fotovoltaicas que serán utilizadas por el reflector en horas nocturnas, brindando así una temperatura estable para el correcto secado, en la finca Villa Carolina del municipio de Buesaco. Y cuyos objetivos específicos implican determinar las falencias presentes sobre el tipo de secado manejado en la Finca Villa Carolina del municipio de Buesaco. De igual manera, el segundo objetivo específico comprende el diseño de un sistema de movimiento vibratorio para lograr un secado de café uniforme. Y finalmente la construcción de un prototipo que permita controlar las condiciones de temperatura dentro del invernadero para un óptimo secado del café.

Este trabajo contempla un tipo de investigación cuantitativa y cualitativa, donde se realiza la investigación aplicada, esto debido a la necesidad de la implementación de un sistema para el secado del grano en la finca Villa Carolina del municipio de Buesaco, en el Departamento de Nariño, con el fin de contribuir en la mejora sobre los procesos para la obtención de un producto de calidad.

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas tipo exportación que se cultiva en Colombia, y por esta manera se encuentra que más de 600 mil familias obtienen su sustento económico de dicha actividad, pues los factores físicos, geográficos y climáticos del país son propicios para el desarrollo cafetero. En el proceso de cultivo se destacan tres etapas de gran importancia, despulpado, eliminado de mucílago y secado. Este tercer proceso resulta delicado, pues de aquí depende la calidad de café apto para el consumo. [1]

La problemática en el sector caficultor se centra en el proceso de secado del grano el cual, al realizarse de forma manual, resulta con un nivel mínimo de homogeneidad que implica la disminución en la calidad del café que se obtendrá para ser comercializado, de ahí la relevancia del proyecto, dado que permitirá automatizar dicho proceso mediante la implementación de un secador solar tipo parabólico.

La finca Villa Carolina, ubicada en la vereda Higuerones del municipio de Buesaco, está dedicada al cultivo del café, en esta como y otras fincas se presenta la problemática asociada al secado, de ahí la necesidad de implementar un secador solar tipo parabólico, de acuerdo a los requerimientos técnicos de la producción desarrollada en el lugar.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El cultivo de café, es una actividad relevante a nivel nacional, aquí se estima que entre la superficie de cultivo este abarca el 4,51%, y en relación a la producción el 4,17%, donde existe un aporte importante realizado por el Departamento de Nariño [2]. Dentro del proceso de producción, una vez se ha cultivado con prácticas adecuadas, se realiza la cosecha, de esta forma el café estará listo para su transformación en café suave lavado, donde primero se despulpa, luego se elimina mucílago, a esta etapa se la conoce como etapa húmeda para finalmente realizar el secado, a través de estos pasos es posible obtener la acidez, el cuerpo y el aroma característicos del café colombiano. [3]

El café cultivado en Nariño es 100% arábigo, se procesa mediante la etapa húmeda explicada anteriormente en las fincas cafeteras existentes en el departamento, una vez procesado el perfil denota alta acidez, cuerpo medio, notas dulces y un aroma pronunciado, existen diferentes municipios ubicados en la zona cafetera al oriente de Nariño, donde se

Harold Andres Rosero Jurado es estudiante ingeniería mecánica de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia.
Kevin Steve Cisneros Gomez es estudiante ingeniería mecánica de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Colombia.



cultiva este producto, entre ellos destaca el municipio de Buesaco, cuyo café es considerado uno de los mejores. [4]

Como se ha mencionado el café debe pasar por distintas etapas, que aseguran la calidad del mismo para comercializarse. En la Finca Villa Carolina, localizada en zona rural del municipio de Buesaco, los procesos realizados se hacen de forma artesanal, situación que deja ver algunas falencias entre procesos, de ahí que una de las más importantes está asociada al secado, situación que retarda la obtención del café de calidad listo para su comercialización. [5]

El secado no homogéneo ocurre por el desgaste de radiación solar, por la variación de temperatura el café se deteriora y tiende a ser desechado pues se quema o está en malas condiciones para ser recolectado. En la actualidad el método artesanal es sensible a las variaciones de clima que afectan el tema del secado, este método implica trabajo más arduo ya que es fundamental la mano de obra del caficultor. El secado de café debe ser inmediato, después del lavado, con el fin de evitar contexturas inadecuadas. Para un correcto secado, no se debe maltratar o mover bruscamente el café, ya que la radiación solar cumple la función de un secado uniforme, se debe evitar que se moje para disminuir la aparición de hongos y su afectación sobre la calidad del producto. [6]

Al encontrar la deficiencia en el proceso de secado, se consigue un secado continuo, pero la salvedad del caso es que se necesita mayor tiempo y constante mano de obra, de ahí que se advierte la necesidad para crear un prototipo que facilite el proceso de secado del café, y así mismo permita el aprovechamiento de la radiación solar mediante un sistema parabólico, como un método sostenible, debido a que en este proceso se define la conservación de la calidad del café. [7]

Instituciones como el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafe, cuyas acciones principales se centran en la investigación para mejorar la producción del café, han sido capaces de desarrollar tecnologías para los procesos productivos asociados a dicho cultivo, en este sentido sobre la etapa de secado, se han desplegado estudios y materializaciones sobre los secadores solares, como una forma de aprovechar eficientemente la radiación solar y la energía del aire, y cuya estructura ya realizada se consigna como de bajo costo y fácil de utilizar por el caficultor. [5]

III. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de café es una actividad con relevancia económica a nivel del Departamento de Nariño, aún más para los municipios dedicados a esta labor, dado que a nivel mundial el café hace parte del grupo de productos agrícolas con mayor índice para el consumo, así mismo en Colombia se destaca que el 99% de los hogares consumen café, y más de 500 mil familias basan su economía en dicha actividad. El café especial, que es cultivado en algunos municipios como Buesaco goza de condiciones favorables en el mercado pues

los precios crecen aceleradamente con relación al café tradicional. [5]

El reconocimiento de este sector como uno de los más importantes en cuestión económica, a nivel nacional y regional permite estudiar abiertamente dicho sector, en Colombia existen empresas tanto de preparación del grano de café como empresas dedicadas a la exportación, dado que el territorio Colombiano cuenta con las características físicas adecuadas para dicha producción de manera que el clima, suelo y relieve son propicios para dicho cultivo, de ahí que organizaciones como la federación de cafeteros de Colombia han zonificado el área cafetera la cual se extiende por las cordilleras, así, es muy reconocido el eje cafetero, de igual forma los municipios ubicados al oriente del departamento de Nariño los cuales albergan más de 54.000 familias que cultivan 36.067 hectáreas de café como Sandoná, La Unión, Samaniego, Consacá, Bomboná, La Florida, Chachagüí, San Pablo, San Pedro de Cartago, San Lorenzo, Taminango, Arboleda, El Tambo son propicios para el cultivo de este producto agrícola. [5]

La relevancia del presente proyecto de investigación radica en mejorar y estandarizar los procesos de secado de café, mediante la implementación de secador que aproveche la energía solar para mantener temperatura adecuada en horas de la noche, generando una gran solución al sector agrícola dedicado al cultivo de café, y contribuyendo a la comunidad que desempeña estas tareas en la tecnificación de sus procesos.

La importancia de este trabajo está relacionada con la búsqueda y mejoramiento de los procedimientos mecánicos asociados al secado del café, implementando un secador solar tipo parabólico compuesto por camas vibratorias para que el café esté en continuo movimiento y no se exponga el grano de un solo lado a la radiación solar, también cuenta con sensor de temperatura para tener control del calor recibido, extractor para que el café esté fresco en horas del secado, además de que la foto térmica o paneles solares contribuyen en la transformación de la energía radiante solar en calor o energía térmica, y las resistencias calefactoras para que al detectar temperaturas inferiores, el sensor se active automáticamente y genere calor dentro del prototipo. Finalmente, las celdas fotovoltaicas cumplen la función del almacenamiento de energía para los horarios de menos radiación solar, donde esta herramienta abastecerá la potencia del reflector permitiendo mantener estable el secado del grano.

IV. OBJETIVOS

Diseñar un sistema de secado para el grano de café mediante camas vibratorias y recolección de energía solar por medio de celdas fotovoltaicas para trabajo nocturno, en la finca Villa Carolina del municipio de Buesaco.

A. OBJETIVOS GENERAL

Implementar un sistema de secado para el grano de café mediante camas vibratorias y recolección de energía solar por medio de celdas fotovoltaicas para trabajo nocturno, en la finca Villa Carolina del municipio de Buesaco.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las falencias presentes en el tipo de secado manejado en la Finca Villa Carolina del municipio de Buesaco.
- Diseñar un sistema de movimiento vibratorio para lograr un secado de café uniforme.
- Construir un prototipo que permita controlar las condiciones de temperatura para un óptimo secado del café.

V. MARCO TEORICO

A. Café

El café es una bebida que se obtiene de los granos molidos y tostados de la planta del café (cafeto) este elemento es altamente estimulante por su contenido de cafeína y se considera como una sustancia psicoactiva. Este producto es comercializado por todo el mundo y una de las tres bebidas más consumidas a nivel internacional. [5]

B. Ingeniería mecánica

La ingeniería mecánica, puede ser considerada parte importante en el desarrollo multidisciplinario de un país, esto en la medida en que contribuye en la construcción de estructuras de maquinarias y equipos para mejorar los procesos de manufactura, transporte de elementos fluidos o de otra índole, y demás necesarios para suplir necesidades de la sociedad; cabe resaltar que la ingeniería mecánica permite transportar energía eléctrica o transformar los elementos que provee la naturaleza en algún tipo de energía; sin embargo esta disciplina no actúa por sí sola, por el contrario necesita cooperación con otras disciplinas.

C. Industria del café

En la actualidad existen diferentes tipos de secado, entre ellos está el natural que consiste en tender el grano en patios y por medio de la radiación solar se hace el secado manteniendo en continuo movimiento el grano, apoyados con el rastrillo, para lograr un secado uniforme. El semi lavado implica que el grano pase por canales de lavado y llegue a la despulpadora, este proceso es delicado ya que se encuentra húmedo al momento del secado, y se debe tener en cuenta las condiciones climáticas para que no se deteriore el grano de café, el secado contribuye a que el resultado sea que el grano obtenga un sabor más dulce agradable al consumidor.

D. Secadores de café tradicionales

Título	Temperatura	Técnicas	Estructura
Secador directo.	Manejo de temperatura a 60°C	Radiación solar directo, esto favorece para que la humedad no dañe el grano, rastrillo manual.	Madera y plástico donde será tendido el grano.
Secador parabólico.	Manejo de temperatura a 55°C A 60°C	Recibe radiación solar por encima del plástico transparente, rastrillo manual.	Tubos de PVC, madera en buen estado, mallas para la cubierta.
Domo invernadero.	Manejo de temperatura a 50°C	Rastrillo manual, estar pendiente del grano para tener secados uniformes, camas de secado.	Madera, plástico, son forrados totalmente con plásticos semi transparentes, madera en buen estado y guadua para sus columnas.

Fig. 1 Secadores de café.

VI. DISEÑO DE DETALLE

A. Capacidad de la Cama de Secado

El prototipo de máquina puede almacenar y secar dos metros cuadrados de área con una altura máxima de 2 a 2.5 cm para darle mejor uniformidad al secado de los granos del café debido a que las longitudes del café oscilan entre los 6 y 12 mm de longitud entre sus formas ovalados y alargado y 4 y 8 mm en la forma redondeados.

Para hacer la relación de número de granos en el área de la cama de secado es necesario conocer el volumen total de la cama de secado de la siguiente manera.

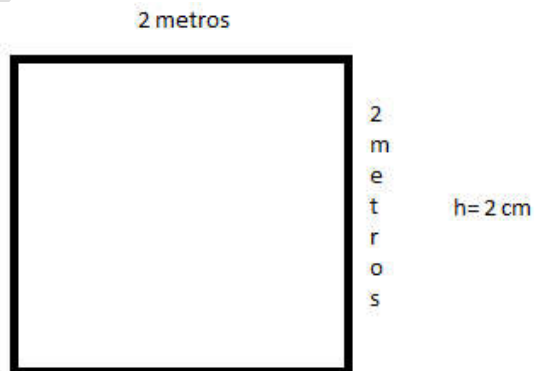


Fig. 2 Longitud cama vibratoria.

B. Masa total del café para secar

Para calcular la masa del café se necesita conocer la densidad del café debido a que se tiene el volumen total de la cama de secado. Entonces se emplea la siguiente ecuación para encontrar la masa.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Se procede a despejar la ecuación de la densidad para encontrar la masa del café para secar.

$$m = \rho \times V$$

$$m = 620 \text{ kg/m}^3 \times 0.08 \text{ m}^3$$

$$m = 49.6 \text{ Kg}$$

C. Peso de los materiales

Valores del peso de los materiales			
Material	Cantidad	Dimensión (m)	Peso (kg)
Perfil acero inoxidable cal 18	6	2	18.9 kg
Malla diamante	1	2 x 2	0.65 kg

Fig. 3 Materiales.

D. Cargas totales

Se suman las cargas encontradas para obtener la carga final a la cual va estar sometida el prototipo.

$$C T = 19.55 \text{ kg} + 49.6 \text{ kg}$$

$$C T = 69.15 \text{ kg}$$

E. Potencia requerida por el motor

Para encontrar la potencia requerida en el motor para mover la cama de secado del café tomamos en cuenta el torque generado por los resortes y seleccionamos los rpm de trabajo.

Revoluciones de trabajo = 800

Ahora empleamos la ecuación de Groover 2010 para determinar la potencia del motor a utilizar en el prototipo.

$$P = 2\pi \times Fr \times T$$

$$P = 2\pi \times 800 \times 0.86$$

$$P = 1080 \text{ W}$$

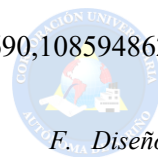
Se debe conocer la potencia del motor en hp para seleccionar un motor comercial del mercado.

Potencia en hp

$$P = 1080 \text{ W} \times \frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P = 1.4 \text{ Hp}$$

En la selección del motor se puede elegir un motor eléctrico a 110 V Con los rpm regulables para llegar a operar entre 200 y 300 dependiendo la intensidad con que se quiera mover el café, a continuación, se establece algunos motores de selección.



F. Diseño del eje para mover a cama de secado

Para el diseño de este eje se necesita conocer cuál es el diámetro del eje para poder soportar las cargas de trabajo a las que está sometido evitando posibles fallas en el prototipo. Para este cálculo se toma como referencia el libro de diseño mecánico de Robert Mott. de la cuarta edición en la cual se establece varios parámetros de diseño.

G. Diagrama de Cuerpo Libre del Eje

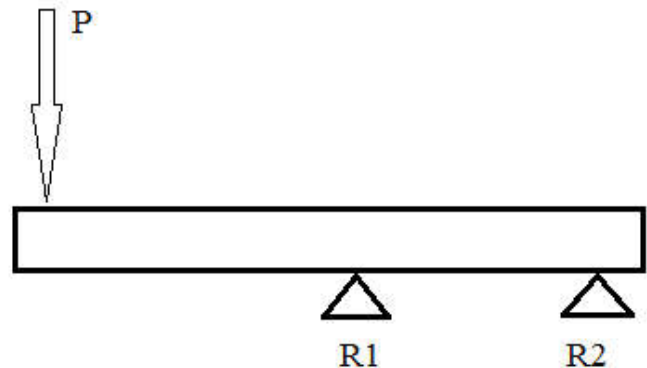


Fig. 4 Diagrama de cuerpo libre.

La fuerza P corresponde a la fuerza de reacción generada por cada muelle de la cama de secado en este caso es de 86.4 N Se determina las reacciones R1 y R2.

Como la cama de secado está fabricada en perfiles de acero inoxidable y este llega a medir entre 7 y 10 cm de ancho se establece las medias del eje de acuerdo con esas medidas aumentando el doble de su distancia para que sirva como soporte del eje.

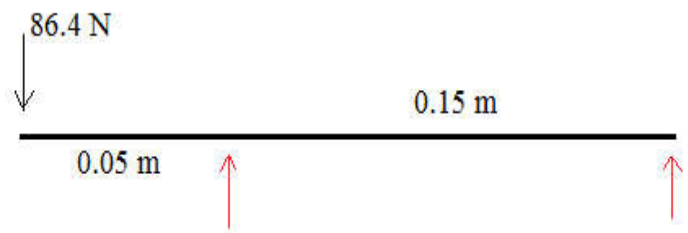


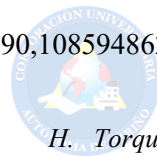
Fig. 5 Diagrama de cuerpo libre.

Se realiza sumatoria de fuerzas para encontrar las reacciones en el eje x.

$$\sum x = 0$$

Sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$\sum y = -P + R1 + R2$$



H. Torque Generado

$$R1 = 86,4 - R2$$

Sumatoria de momentos para encontrar la reacción en 2.
Sumatoria de momentos eje y.

$$\sum My = 0$$

Sumatoria de momentos eje x.

$$\sum Mx \text{ en } R1 = -P(0,05m) - R2(0,15m) = 0$$

$$R2(0,15) = -86,4(0,05m)$$

$$RB = -\frac{4,34 \text{ N m}}{0,15 \text{ m}}$$

$$RB = -28,8 \text{ N}$$

Remplazamos en la ecuación No. 17 sumatoria de fuerzas en Y para encontrar la reacción en el punto 1.

$$R1 = 86,4 - R2$$

$$RA1 = 86,4 - (-28,8)$$

$$R1 = 115,2 \text{ N}$$

Momentos Máximos y Cortantes Máximos en el Eje
Para determinar el momento máximo y cortante máximo en el eje se utiliza el software de diseño MD Solid 4.0 el cual permite establecer valores de diseño bajo las cargas efectuadas.

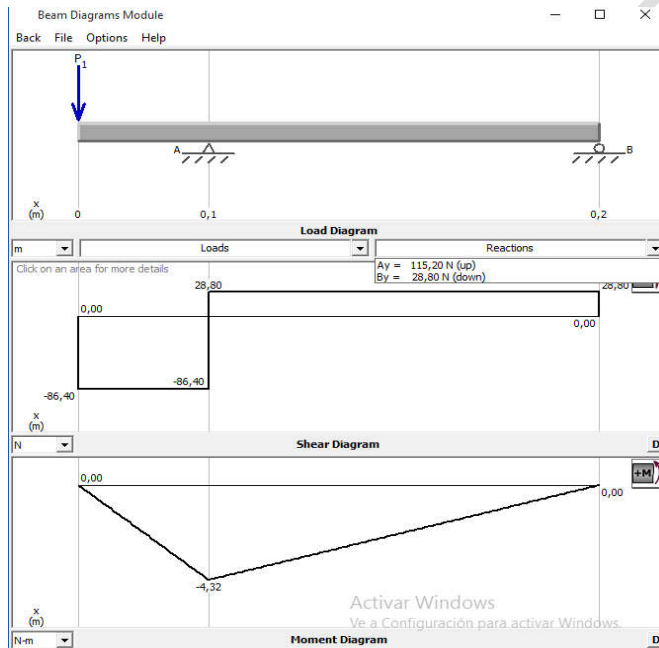


Fig. 6 Momento máximo y cortante máximo.

Se determina que el cortante máximo para el eje es de -4.32 N.m.

La fuerza total generada es del eje es 86.4 multiplicado por 8 resistencias del mismo valor con un resultado de 691.2

El torque se establece con la siguiente ecuación teniendo en cuenta el diámetro primitivo de la polea conducida la cual es de 0.13m

$$T = 691,2 \times 0,13$$

$$T = 89,8 \text{ Nm}$$

Diámetro del Eje para Mover la Cama de Secado.

Ya obtenidos estos valores procedemos al cálculo del eje de diseño bajo la ecuación:

$$D = \left[\left(\frac{32 N}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{Kt M}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{1/3}$$

2)

Donde:

N: Factor de diseño.

Kt: Coeficiente de chaflán.

M: Momento máximo.

S'n: Resistencia a la fatiga.

T: Par Torsor.

Sy: Resistencia a la última tensión.

I. Coeficientes del Chaflán.

Una de las formas de garantizar el diseño de un eje bajo las cargas de trabajo es tomando valores de chaflán por encima de 1.

Para garantizar el diseño y evitar falla se toman valores recomendados en el libro de Robert L Mott tomando aproximaciones en los valores de la siguiente manera.

Coeficientes del eje, $Kt = 1$, $N = 2$.

J. Factores de Diseño.

Para N se elige un valor de 2 y Kt de 1,5 puesto que es el recomendado para la concentración de esfuerzos en cuñeros.

Determinaciones de Resistencia a la Fatiga.

S'n; resistencia a la fatiga.

Para establecer el valor real se necesita estimar el tipo de material y datos adicionales que se calculan a continuación.

K. Factor de Confiabilidad.

Cr; Factor de confiabilidad.

Por lo general el factor de confiabilidad siempre es de 0.99 % para precisar los cálculos en el diseño

L. Factor de Tamaño.

Se toma un valor aproximado de la posible medida del eje y se guía en la tabla del sistema internacional, se establece un rango mayor a 7.62 mm y menor a 50 mm luego se aplica la ecuación que se establece en la Figura 7.

Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional	
Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$D \leq 0.30$	$C_s = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_s = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_s = 0.859 \cdot 0.02125D$
Unidades SI	
Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_s = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_s = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_s = 0.859 \cdot 0.000837D$

Fig. 7 Factor de tamaño. [8]

Se aplica la ecuación establecida en la fig. 7.

$$C_{s \text{ eje}} = \left(\frac{D}{7.62}\right)^{-0.11}$$

$$C_{s \text{ eje}} = \left(\frac{45}{7.62}\right)^{-0.11}$$

$$C_s = 0.82$$

Tabla 1

Propiedades del Material para Resistencia a la Fatiga.

Acero AISI 1020 Estirado en frío	
Resistencia a la tensión S_u	420 Mpa - 61 Ksi
Resistencia a la fluencia S_y	352 Mpa - 51 Ksi

Se determina S_n a partir de los valores establecidos.

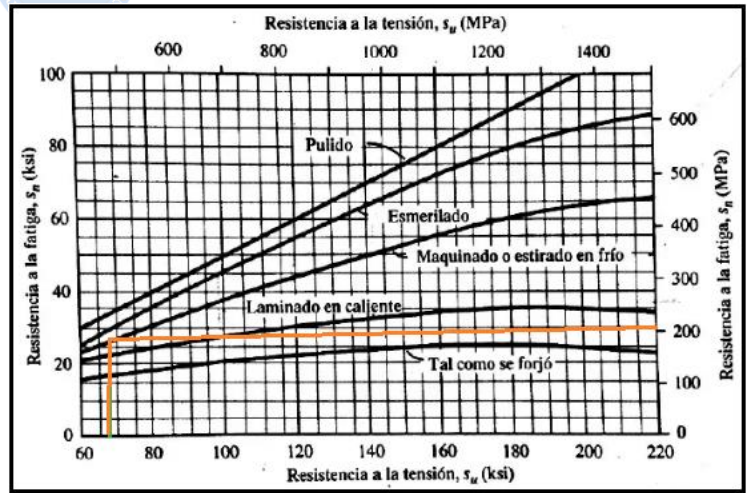


Fig. 8 Resistencia a la fatiga. [8]

Se aproxima el valor de S_n una vez seleccionado el material, y se determina la resistencia a la fatiga S_n con un valor de 210 Mpa o 28 Ksi.

Se procede a calcular la resistencia a la fatiga real con la ecuación que establece el factor de tamaño y confiabilidad.

$$S'_n = S_n(C_r)(C_s)$$

$$s'_n = 210 \text{ Mpa} (0.81)(0.82)$$

$$S'_n \text{ del eje} = 140 \text{ Mpa}$$

M. Cálculo del Diámetro del Eje.

Se aplica la ecuación para la sección I en el eje.

$$D = \left[\left(\frac{32(2.0)}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{(1) 4.32}{140 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{89.8}{352 \times 10^6} \right)^2 } \right]^{1/3} = 0.016m$$

$$D = 16mm$$

N. Esfuerzos generados en el eje

Esfuerzo por Flexión

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S}$$

S: Modulo de sección. Se determina así.



$$S = \frac{\pi \times d^3}{32}$$

$$S = \frac{\pi \times 0.016m^3}{32}$$

$$S = 4.02 \times 10^{-7} m^3$$

Esfuerzo por flexión sección del eje se obtiene de la ecuación y tenemos.

$$\sigma_{max} = \frac{4.32Nm}{4.02 \times 10^{-7} m^3} = 107MPa$$

CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

N = Factor de seguridad
 S_y = Resistencia del material

Obtenemos el factor de seguridad del eje.

$$N = \frac{352Mpa}{107MPa} = 3.2$$

O. Análisis estático

Con el software inventor se realiza simulación de la carga estática brindando un mejor análisis en la estructura para su respectiva construcción. En la tabla 21 y 22 se muestra las propiedades físicas como masa, área, volumen, centro de gravedad y las características del material utilizado.

Tabla 2
Propiedades físicas.

Propiedades físicas de la estructura	
Masa	125,852 kg
Área	101240,544 mm ²
Volumen	16032,132 mm ³
Centro de gravedad	x=998,064 mm y=515,428 mm z=-1000,008 mm

Tabla 3
Características del Material.

Nombre	Acero al carbono	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,275 su

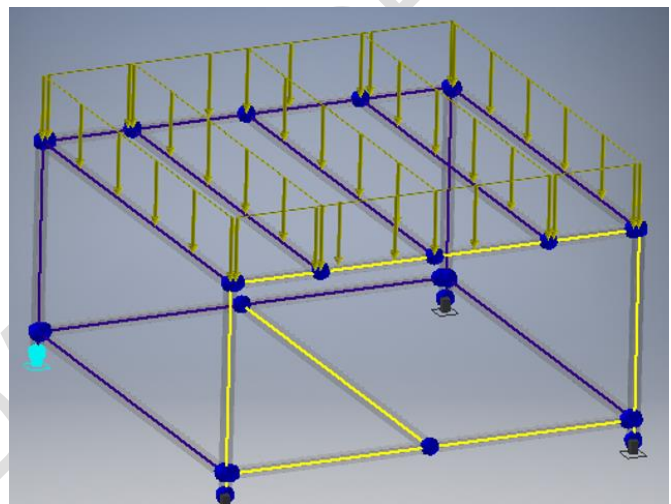


Fig. 9 Cargas continuas en estructura.

Para este análisis se optó por seguir el lineamiento de cargas continuas ya que el peso de todo el café y los elementos que se encuentran en la parte superior será distribuido por toda el área de la cama como se indica en la figura 24.

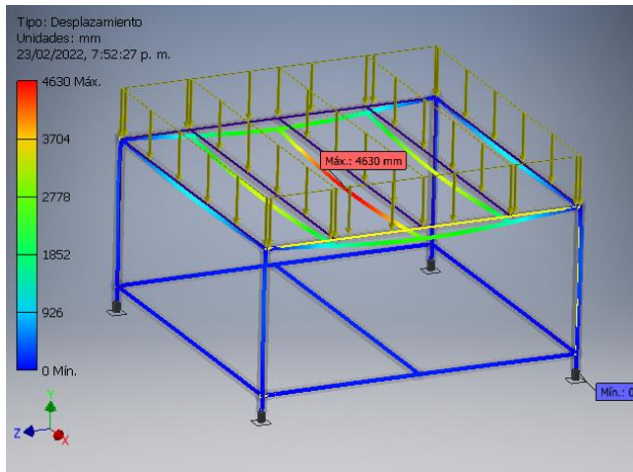


Fig. 10 Análisis estático.

Factor de seguridad = constante de elasticidad estructural / constante de elasticidad del estudio.

$$\frac{207,000 \text{ MPa}}{77956,505 \text{ MPa}} = 2,65$$

El factor de seguridad es de 2,65

Cuando se usa el límite de elasticidad debe ser superior a 1 para que el diseño sea aceptable.

Nota: Un valor inferior a 1 indica que existe una deformación permanente.

P. Etapa final del diseño 3d

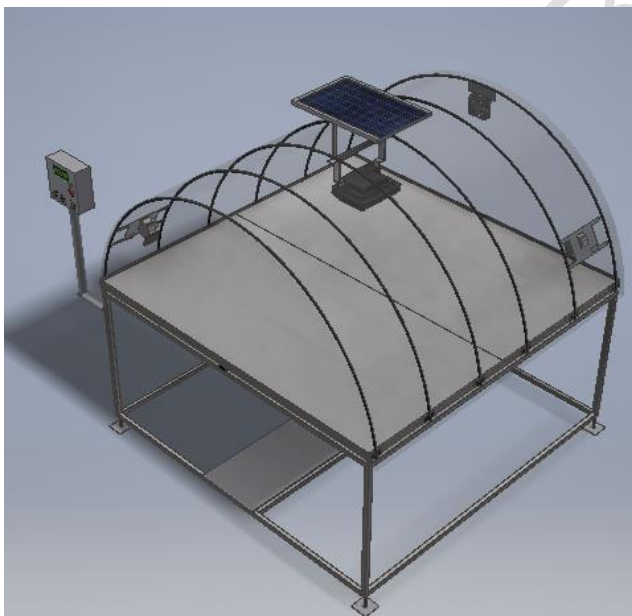


Fig. 11 Diseño 3D en Inventor

VII. CONSTRUCCION DEL PRTOTIPO



Fig. 12 Prototipo secador de café.

VIII. ANALISIS Y RESULTADOS

Realizando las primeras pruebas se utilizó diferentes tipos de cascara de frutas como: mango, maracuyá, banano criollo entre otros. Con esto evidenciamos que a un rango de temperatura entre 40 y 45°C y por diez horas de secado continuo se logró resultados satisfactorios al observar y palpar la cascara secas.

De manera más detallada se observa la cascara de frutas seca donde se obtiene resultados satisfactorios durante 12 horas de secado.



Fig. 13. Secado de cascara de frutas

Al realizar la prueba con grano de café podemos evidenciar que durante 48 horas se alcanzó un secado uniforme, de tal manera que los resultados obtenidos con este proceso de secado y un rango de temperatura que oscila entre los 40 y 45 °C fueron eficientes.



Fig. 14 Grano de café en proceso de secado.



Fig. 15 Resultado final.

Después de verificar el correcto funcionamiento de los componentes del prototipo se procede a revisar la temperatura y el tiempo que llevan dentro, se obtiene un café de color amarillento como se muestra en la figura 39 con una humedad del 7% para su siguiente proceso que es el tostado.

La siguiente figura describe con mejor detalle lo anteriormente mencionado, como lo es temperatura ambiente tomada para cada prueba realizada, temperatura final a la cual está sometido el sistema parabólico, peso inicial para determinar su humedad inicial y su peso final al terminar el secado para realizar el respectivo pesaje para encontrar su humedad final.

Proceso	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad inicial (%)	Peso inicial (g)	Temperatura del sistema (°C)	Tiempo de secado(s)	Peso final (g)	Humedad final (%)
Secado de cascara de frutas	20°C	90%	2000g	45°C	12 horas	800g	15%
Secado de café	24°C	60%	3000g	45°C	48 horas	1800g	10%
Secado de café	22°C	56%	2000g	45°C	37 horas	900g	7%

Fig. 16 Resultados finales.

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo presentado y a los resultados obtenidos, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

- La evidencia demostrada en el presente trabajo nos define que el prototipo obtenido después de la de investigación, diseño y construcción, nos arroja un resultado satisfactorio ya que el proceso de generación de calor y la cama vibratoria cumplen con su debido trabajo.
- El grano de café que está dentro del secador solar, estará protegido de los cambios de temperatura, pero especialmente de la lluvia que puede afectar la calidad física y química de un café de alta calidad.
- Para un secado uniforme del grano de café, se manejó un rango de temperatura que oscila entre los 40 y 45 °C y una temperatura ambiente a 25°C, se utiliza calefactores que producen un flujo de energía calorífica que mantiene estos rangos y se logró en 48 horas un secado óptimo.
- El prototipo logra reducir las tareas del operario y por lo tanto reduce costos en el proceso, favorece la calidad de vida del caficultor al reducir las jornadas de volteo del grano y mejora la calidad del producto respecto al porcentaje de humedad obtenido.
- El diseño del secador solar nombrado en este estudio presentó algunas ventajas sobre los modelos existentes o tradicionales, la implementación de materiales resistentes, garantizan que el prototipo tenga una vida útil de su funcionamiento.



X. RECOMENDACIONES

- Limpiar el prototipo por cada proceso de secado.
- Inspeccionar cada uno de los equipos que estén en óptimas condiciones para dar inicio a un nuevo proceso.
- Es importante realizar el proceso de vibración por un tiempo estimado de 10 minutos alrededor de 5 veces al día.
- El café debe ocupar todo el espacio disponible de la cama vibratoria para su correcto secado.
- No se debe apoyar ningún elemento sobre el plástico para evitar pérdidas de calor.
- Evitar rociar agua sobre el centro de control del prototipo.
- Si no cuenta con la debida capacitación de manejo y uso queda prohibido su manipulación.

XI. REFERENCIAS

- [1] Andrade, R., & Ordoñez, J. V. (2020). Estudio de la línea base del proceso de beneficio del café en fincas de la Asociación de Cafés Especiales de Sandoná Nariño – ASOCAFESAN. San Juan de Pasto: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- [2] Peñuela, A. E., & Sanz, J. R. (2020). *Obtenga Café de Calidad en el Proceso de Beneficio*. Bogotá D.C.: Cenicafé.
- [3] Burbano Tulio. (2019). *EL CULTIVO DEL CAFÉ (Coffea arabica L.) EN NARIÑO*. Pasto: Universidad de Nariño.
- [4] Ordóñez Chávez, J. (2021). *Diseño de un Plan de Negocio para la Creación de una Empresa Sostenible, Procesadora y Comercializadora de Cafés Especiales Tostados, en el municipio de Buesaco, Nariño*. Buesaco: Universidad EAN.
- [5] Roa, & Álvarez. (2013). Secado del Café. En *Beneficio Ecológico del Café* (págs. 146-188). Bogotá: Cenicafé.
- [6] Sánchez, O. P., & Gahona, J. P. (2018). *PROTOTIPO SECADO Y VOLTEO DE CAFÉS ESPECIALES APROVECHANDO LAS ENERGÍAS RENOVABLES*. Bogota D.C.: Universidad Piloto de Colombia.
- [7] Meza, M. (2022). *Federación de cafeteros de Colombia*.
- [8] Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Maquinaria* (Cuarta ed.). México: Pearson.