

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:
REDISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA TAMIZADORA DE GRANOS DE
CAFÉ PARA LA PLANTA DE EMPAQUETADO DE LA ASOCIACIÓN RÍO
INTAG**

**AUTORES:
ABRAHAM ERNESTO ESPINOSA MENDOZA
EDIZON FABRICIO VARELA ROSERO**

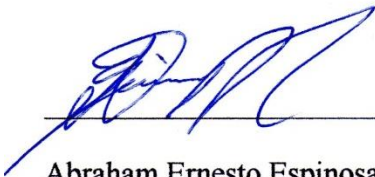
**TUTOR:
DÍAZ DÁVILA WILLIAM GUSTAVO**

Quito, julio del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Abraham Ernesto Espinosa Mendoza y Edizon Fabricio Varela Rosero, con documento de identificación N° 172328676-9 y N° 100365024-7 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “REDISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA TAMIZADORA DE GRANOS DE CAFÉ PARA LA PLANTA DE EMPAQUETADO DE LA ASOCIACIÓN RÍO INTAG”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Abraham Ernesto Espinosa Mendoza
C.I.172328676-9



Edizon Fabricio Varela Rosero
C.I. 100365024-7

Quito, julio del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “**Rediseño y simulación de una tamizadora de granos de café para la planta de empaquetado de la asociación Río Intag**”, realizado por Abraham Ernesto Espinosa Mendoza y Edizon Fabricio Varela Rosero, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.



William Gustavo Díaz Dávila

040092618-4

Quito, julio del 2019

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Titulación es la culminación de cerca de seis años de estudios en la Universidad, los cuales no los he pasado solo, por esta razón deseo agradecer, brevemente, a las personas más importantes que han influido en mi desarrollo a lo largo de este tiempo.

Primero deseo agradecer a mi madre por estar siempre presente y por brindar más ayuda de la que merezco.

A mi padre, por enseñarme a ser exigente conmigo y mi trabajo, y por el sacrificio que hizo para que logre realizar mis estudios.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por ser la institución más humana en la que estudiado en toda mi vida.

Gracias a todos y a sus esfuerzos para ayudarme a terminar esta carrera.

Abraham

Principalmente a Dios, quien me ha dado la fortaleza, salud y sabiduría para afrontar cada momento de vida.

A mis padres Edison y Mayra, Gracias, porque todos los sacrificios que hicieron por mí se ven reflejados aquí al cumplir esta gran meta, me han apoyado en el transcurso de mi vida estudiantil, brindándome sustento incondicional, gracias a los valores implantados en mi hogar me han hecho de su hijo agradecido, responsable, amoroso y cariñoso.

A mi familia que de alguna manera me han ayudado en mi vida universitaria, amistades y amigos.

A mis docentes Ingenieros por el tiempo y esfuerzo que dedicaron a compartir sus conocimientos, sin su instrucción profesional no habría llegado a este nivel.

Fabricio

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Café (producto).....	1
1.1.1 Historia del café.....	1
1.2 Propiedades del café.....	2
1.2.1 Tamaño del café.....	4
1.2.2 Formas del café.....	8
1.3 Reseña de la comunidad.....	9
1.4 Tamizado.....	10
1.4.1 Definición de Tamizadora.....	11
1.4.2 Materiales de fabricación de una tamizadora.....	11
1.4.3 Vibradores eléctricos.....	11
1.4.4 Tipo de tamizadora.....	12
1.4.5 Tamiz vibratorio.....	12
1.4.6 Tamiz centrífugo.....	13
1.4.7 Tamiz Rotatorio-recíproco.....	14
CAPÍTULO II.....	16
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	16
2.1 Selección de tipo de tamizadora.....	16

2.2 Alternativa 1 - Tamizadora de tambor rotatorio	16
2.3 Alternativa 2 - Tamizadora de paletas	17
2.4 Alternativa 3 - Tamizadora vibratoria	18
2.5 Método de selección	18
2.6 Ponderación de resultados	23
CAPÍTULO III	25
DISEÑO GEOMÉTRICO	25
3.1 Análisis de cargas	25
3.1.1 Dimensiones generales del tambor giratorio	25
3.1.2 Masa de grano dentro del tamiz	25
3.1.3 Masa del tambor giratorio	26
3.1.4 Cargas radiales y axiales	27
3.1.5 Par de torque	29
3.1.6 Potencia mínima de motor requerida	30
3.1.7 Par aplicado	31
3.2 Esquema	32
3.3 Eje de soporte	33
3.4 Eje de motor	36
3.5 Bastidor	39
3.5.1 Sección superior del soporte	40
3.5.2 Sección inferior del soporte	42
3.5.3 Pernos regulables	43
3.6 Conjunto tambor:	45
3.7 Simulaciones	46
3.7.1 Simulación 1- Eje de soporte	46
3.7.2 Simulación 2- Eje motor	48
3.7.3 Simulación 3- Bastidor 1	50

3.7.4 Simulación 4- Bastidor 2 - Sección superior	51
3.7.5 Simulación 5- Bastidor 2 - Sección inferior	52
CAPÍTULO IV	54
ANÁLISIS ECONÓMICO	54
4.1.1 Materiales	54
4.1.2 Insumos (consumibles).....	55
4.1.3 Costos de fabricación.....	56
Espuma EPDM tira de sellado 10 metros	59
4.1.4 Costos directos	59
4.1.5 Costos indirectos	60
4.1.6 Costo Total	60
4.2 Payback period	61
4.2.1 Costo de la inversión.....	61
4.2.3 Ingreso Generado	61
4.3 El valor actual neto (VAN)	63
4.4 Tasa interna de retorno (TIR).....	64
CAPÍTULO V	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1 Conclusiones	66
5.2 Recomendaciones	68
Referencias.....	70

Índice de Figuras

Figura 1. Capas de una fruta de café [18]	3
Figura 2. Varios defectos que se encuentra en el café [23].....	8
Figura 3. Formas de granos de café a nivel mundial [22].....	9
Figura 4. Ubicación Geográfica de la Zona de Intag [24]	10
Figura 5. Principio de funcionamiento del tamiz [26]	10
Figura 6. Modelo de un motor vibratorio [31]	12
Figura 7. Tamiz vibratorio [29].....	13
Figura 8. Tamiz centrífugo [27]	14
Figura 9. Tamiz Rotatorio-recíproco [30].....	15
Figura 10. Diagrama de funcionamiento de una tamizadora de tambor rotatorio	17
Figura 11. Concepto de una tamizadora de tambor con paletas giratorias. . Elaborado por: Abraham Espinosa % Fabricio Varela.....	17
Figura 12. Diagrama de funcionamiento de un tamiz vibratorio [32]	18
Figura 13. Dimensiones del volumen utilizado por el grano	26
Figura 14. Modelado conceptual del tambor	27
Figura 15. Resultados de la simulación de la masa del conjunto de tambor giratorio	27
Figura 16. Reacciones ante la carga en los rodamientos. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela	28
Figura 17. Velocidad angular vs tiempo. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela.....	29
Figura 18. Momentos de inercia del conjunto del tambor	30
Figura 19. Diagrama del cuerpo libre del eje del motor [38].....	34
Figura 20. Diagrama de fuerza de corte del eje del motor [38]	34
Figura 21. Diagrama de momento de flexión del eje del motor [38].....	35
Figura 22. Diagrama del cuerpo libre del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa % Fabricio Varela	36
Figura 23. Diagrama de fuerza de corte del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa % Fabricio Varela	36
Figura 24. Diagrama de momento de flexión del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa % Fabricio Varela	37
Figura 25. Modelado del soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela	39

Figura 26. Modelado de la Sección superior del soporte Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela	40
Figura 27. Modelado de la sección inferior del soporte Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela	42
Figura 28. Modelado de los pernos regulables	44
Figura 29. Representación como viga del conjunto tambor.....	45
Figura 30. Factor de seguridad del eje de soporte.....	47
Figura 31. Tensiones en el eje de soporte	48
Figura 32. Factor de seguridad del eje motor.....	49
Figura 33. Tensiones en el eje de motor	49
Figura 34. Factor de seguridad del bastidor 1	50
Figura 35. Análisis de tensiones en el bastidor 1	51
Figura 36. Factor de seguridad de la sección superior del bastidor 2	51
Figura 37. Análisis de tensiones de la sección superior del bastidor 2	52
Figura 38. Factor de seguridad de la sección inferior del bastidor 2	53
Figura 39. Análisis de tensiones de la sección inferior del bastidor 2	53

Índice de Tablas

Tabla 1. Dimensiones de la criba redonda de café estándar [21].	5
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los tipos de tamizadoras.	12
Tabla 3. Alternativas de desarrollo.	16
Tabla 4. Significado de la calificación.	19
Tabla 5. Calificación y análisis del costo.	20
Tabla 6. Calificación y análisis de la funcionalidad.	20
Tabla 7. Calificación y análisis de la capacidad.	21
Tabla 8. Calificación y análisis de la fabricación.	21
Tabla 9. Calificación y análisis de la capacidad.	22
Tabla 10. Calificación y análisis de la seguridad.	22
Tabla 11. Calificación y análisis de del ruido.	23
Tabla 12. Calificación final por ponderación.	23
Tabla 13. Esquema de la Tamizadora de café.	32
Tabla 14. Esquema de la Tamizadora de café.	33
Tabla 15. Lista detallada de materiales y costos a utilizar en la construcción.	54
Tabla 16. Lista detallada y costos de pernos a utilizar para la construcción.	55
Tabla 17. Lista detallada y costos de tuercas a utilizar para la construcción.	55
Tabla 18. Lista detallada de cortes de planchas para la fabricación.	56
Tabla 19. Costos de barolados para la fabricación.	56
Tabla 20. Costos de torneado para la fabricación.	57
Tabla 21. Costos de perforado para la fabricación.	57
Tabla 22. Costos de doblado para la fabricación.	57
Tabla 23. Costos de soldadura para la fabricación.	58
Tabla 24. Costos de esmerilado para la fabricación.	58
Tabla 25. Lista detallada con costos de elementos mecánica a utilizar en la máquina tamizadora.	59
Tabla 26. Cuadro de costos directos.	60
Tabla 27. Cuadro de costos indirectos.	60
Tabla 28. Cuadro de costos totales.	61
Tabla 29. Ingreso generado por la nueva tamizadora en un mes.	63

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Tabla de clasificación del grano de café según su tamaño [19]	6
Ilustración 2. Propiedades y centros de gravedad del soporte	39
Ilustración 3. Momentos de inercia del soporte.....	39
Ilustración 4. Propiedades y centros de gravedad de la sección superior del soporte	41
Ilustración 5. Momentos de inercia de la sección superior del soporte	41
Ilustración 6. Propiedades y centros de gravedad de la sección inferior del soporte	42
Ilustración 7. Momentos de inercia de la sección inferior del soporte	42

Glosario

Tamizadora: Función de separar sólidos de partículas en este caso “café” en diferentes tamaños [1]

Orgánico: Procesos asociados a la vida o para referirse a sustancias generadas por procedimientos en que intervienen organismos vivos [2].

Caficultores: Persona que se dedica al cultivo del café [3].

Rotatorio: adjetivo (=giratorio, rotativo) que tiene movimiento circular [4].

Simulación: En el estudio de la Interpretación, la simulación son los resultados que arroja y con base a esto se toma una decisión. Es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación colaboran a soportar decisiones del tipo semiestructurado [5].

Dimensionamiento: Es el proceso por medio del cual se indican las medidas de los objetos que son representados en un dibujo [6].

Café: Es el nombre de la semilla del cafeto, un árbol que crece naturalmente en territorio etíope y que pertenece al grupo de las Rubiáceas. El cafeto posee entre cuatro y seis metros de alto, presenta hojas opuestas de tonalidad verduzca, sus flores son blancas y sus frutos se exhiben en baya roja [7].

Galvanizado: adj. [Metal] recubierto con una capa de cinc para que no se oxide: acero galvanizado [8].

RESUMEN

En este trabajo se analiza una solución para aumentar la producción y calidad de la planta de procesamiento de café Río Intag, ubicado en la provincia de Imbabura en Ecuador. Según el criterio del administrador y del operario en la planta, los problemas de la producción se deben a la ralentización del proceso, debido a la primera máquina clasificadora del grano seco, una tamizadora de tres pantallas vibratorias cuya eficiencia era muy baja y su funcionamiento muy brusco. Se consideraron varias alternativas para corregir este problema y se llegó a la conclusión que la mejor opción es construir una tamizadora de tambor giratorio.

Por esta razón, se procedió a diseñar y simular las partes críticas de esta máquina que estuvo restringida principalmente por el espacio disponible en la sección de clasificación de grano en la planta de procesamiento. También se dimensionó los elementos móviles de acuerdo con el par generado por el motorreductor, debido a que era mayor que los esfuerzos generados por la carga en el tambor rotatorio.

Finalmente, se determinó que la inversión sería aceptable, el tiempo de recuperación de la inversión es aproximadamente doce meses, arrojando valores al año con un VAN aceptable al cien por ciento y un TIR aprobado para el proyecto.

Palabras Clave: café, dimensionamiento, esfuerzos, rotatorio, simulación

ABSTRACT

This paper analyzes a solution to increase the production and quality of coffee of the Rio Intag processing plant, located in the province of Imbabura in Ecuador. According to the criterion of the administrator and the operator at the plant, one of the main production bottlenecks was the first dry grain sorting machine, a three-screen vibrating screens whose efficiency was very low and its operation very abrupt. Several alternatives were considered to correct this problem and it was concluded that the best option is to build a rotating drum sifter.

For this reason, we proceeded to design and simulate the critical parts of this machine that was restricted mainly by the space available in the grain classification section of the processing plant. The mobile elements were also dimensioned according to the torque generated by the gearmotor, because it was greater than the forces generated by the load on the rotary drum.

It was finely determined that the investment would be acceptable, the recovery time of the investment is approximately twelve months, yielding values per year with an NPV acceptable to one hundred percent and an IRR approved for the project.

Keywords: coffee, efforts, rotary, simulation, sizing

INTRODUCCIÓN

Durante siglos, el café ha tenido un trayecto de evolución en su producción que lo ha hecho uno de los productos más importantes en el mundo. Por supuesto, es una de las bebidas más populares en diferentes culturas alrededor del mundo. El café también es un producto valioso y un elemento central en las economías de muchos países; de hecho, como la principal exportación agrícola en docenas de regiones a lo largo del Cinturón Ecuatorial, el café proporciona una vida a millones de personas involucradas en su cultivo, procesamiento y distribución.

Desafiando la creencia de que el buen café debe crecer a la altura, los ecuatorianos no solo cultivan café a lo largo de la columna vertebral de los Andes sino también en zonas costeras, en la cuenca baja de la Amazonia e incluso en las Islas Galápagos. A medida que los diferentes comparadores de todas partes del planeta buscan pequeñas plantaciones de café de origen sostenible, recurren cada vez más al Ecuador y no es raro ver aparecer nombres como Loja, Zaruma e Intag en bolsas de presentaciones en su cafetería local.

Uno de los procesos para la producción de café, es la clasificación de los granos, es ahí cuando entra las máquinas tamizadoras, cuyo objetivo es la clasificación de los granos de café, separándolos por tamaños. El tamaño del café se pasa a través de una serie de pantallas perforadas, de acuerdo con los tamaños deseados. Por lo general, el tamaño del grano se representa en una escala de 10 a 20. La escala indica la dimensión del diámetro del orificio redondo por ejemplo de 1/64 de pulgada. El número 10 indica la dimensión de un orificio y corresponde a un diámetro de 10/64 de pulgada, y un café número 15, de 15/64 de pulgada.

Por dicho proceso, es el motivo del presente trabajo de titulación, donde se desarrolla un nuevo rediseño de una máquina tamizadora de tambor rotatorio, con su respectiva simulación, dando una repotenciación a la producción de tamizado de café, logrando incrementar volúmenes, calidad, y rentabilidad, realizando trabajos técnicos, con un riguroso estudio de diseño y simulación acompañado de cálculos matemáticos y planos.

Para el diseño y simulación de la tamizadora de granos de café para la planta de empaquetado del Río Intag, este trabajo se ha dividido en cuatro capítulos, cada uno de los cuales explica y expone el desarrollo de cada aspecto en la elaboración de este diseño.

En el primer capítulo se expondrán los conceptos involucrados al tema de desarrollo de la tamizadora de café. Por ello se enfoca básicamente en el café como producto de cosecha y sus propiedades y los conceptos del tamizado.

En el segundo capítulo se realiza un proceso de selección de alternativas de solución al problema planteado. Se analizan tres alternativas y se las califica de acuerdo con siete aspectos. Al final se selecciona la mejor opción y se analiza el resultado.

En el tercer capítulo se dimensiona la tamizadora de acuerdo con el espacio disponible, a las cargas que será sometida y a la disponibilidad de materiales en el medio local. Posteriormente se realiza la simulación estática de los elementos críticos del diseño. En el cuarto capítulo se realiza el análisis económico de la construcción de la tamizadora, detallando primero el costo de la inversión, luego se realiza un análisis de beneficios para analizar si es rentable y el tiempo de recuperación de esta posible inversión.

La máquina que cuenta, actualmente, la Asociación tiene diversas fallas, que implica su correcto funcionamiento, dejando como resultado la pérdida de su función activa, esto significa, con el paso de los años ha disminuido su función de producción para la Asociación Río Intag, dejando resultados negativos en la producción de tamizado de café y disminuyendo su producción de venta de café.

Se pretende resolver por medio de un nuevo rediseño de ingeniería, una máquina de tamizado de café, aplicando metodologías y principios de ingeniería con el objetivo de limitar un dispositivo que cuenta con un proceso definido, obteniendo una máquina que funcione de forma segura y confiable. El inconveniente que presenta la planta de empaquetado de la asociación de caficultores Río Intag es una máquina de tamiz de café con un diseño rústico, sin un previo estudio de ingeniería para calcular esfuerzos, deformaciones, velocidades, cantidades y costos de producción.

La importancia de un buen tamizado de granos de café sobrelleva la calidad de café que se pretende vender, siendo un proceso físico mecánico mediante el cual separan el grano de café, con un nuevo diseño de tamizadora se garantiza su funcionamiento, producción y calidad de café tamizado para el beneficio de la Asociación.

Actualmente la industria del café en el país de Ecuador está severamente afectada por la competencia del país vecino de Colombia, ya que sus precios son más bajos que dentro del país sobre todo en la producción del café tipo robusto, el cual es usado en la elaboración del café soluble. De acuerdo con [9], la exportación de café ecuatoriano se redujo un 91% desde 2011. Esto se debe a que en los últimos dos años el costo del café a nivel internacional se ha reducido 20 centavos de dólar por libra, lo que reduce la rentabilidad de los agricultores y por ello estos dejan de plantar café para enfocarse en otros cultivos más rentables.

Evitar la compra de una nueva máquina tamizadora de café y dar una solución mediante un diseño y simulación a un problema en el proceso de producción de la fábrica café de alta calidad “RÍO INTAG” y evitar la compra de una nueva maquinaria. El proyecto se enfoca en la corrección de los errores de diseño de la tamizadora de café que provocan una oscilación inadecuada que disminuye la eficiencia de clasificación de granos por tamaño, debido que en nuestro país no existe maquinarias con altos estándares de calidad para la fabricación de tamizadoras, muchas empresas, en este caso en el ámbito del café, importan dichas maquinas a un alto costo, o incluso elaboran a mano la parte de clasificación del café.

El objetivo general es rediseñar y simular una tamizadora de granos de café para la planta de empaquetado de la Asociación Río Intag.

Los objetivos específicos son:

- Estudiar la situación actual del funcionamiento original de la tamizadora.
- Analizar y seleccionar la mejor alternativa para la repotenciación.
- Rediseñar la máquina empleando un software de ingeniería especializado.
- Analizar la rentabilidad del nuevo diseño.

- Realizar un estudio Técnico – Económico del rediseño aplicado a la máquina tamizadora.

Si bien la Asociación de Caficultores Rio Intag (AACRI) es una agrupación de artesanos, caficultores, distribuidores y varios otros trabajadores, los cuales han sido capaces de organizar una empresa de café y administrarla como un negocio con exportaciones internacionales, es así que con un nuevo rediseño con su respectiva simulación podremos dar una repotenciación y corrección de errores de la máquina tamizadora, logrando aumentar la velocidad de procesado, incrementando así la calidad y rentabilidad del café procesado, realizando trabajos técnicos, con un riguroso estudio de diseño y simulación acompañado de cálculos matemáticos y planos técnicos que harán que sea un trabajo que genere beneficios a la cafetera Rio Intag.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Café (producto)

El café es un producto popular disfrutado mundialmente desde hace siglos. Posee propiedades sorprendentes como un característico aroma, sin olvidar las características reconfortantes que posee. El café tiene efectos positivos en el organismo como mejoras en el rendimiento físico, agudeza mental, fuente de potasio, y estimula el sistema nervioso central, además reduce la fatiga. La cafeína es su principal componente, encargado de tener efectos neurotransmisores como es la adrenalina, los niveles de estos componentes pueden representar cambios de atención y concentración, personas que consumen cantidades moderadas de café tienden a sentirse más energéticos, imaginativos, eficientes, confiados, alertas de sí mismo y motivados para socializar y trabajar. Esto hace un incremento de consumo de café en el ámbito profesional, donde se tiene mejor desempeño laboral, con un café en la mañana se tiene un mejor desempeño en el aprendizaje y retención de nueva información [10]. 2.25 billones de tazas de café al día, cifra estimada en el consumo mundial de café, convirtiéndose en la segunda bebida más consumida del mundo con un valor muy alto en la economía mundial siendo, después del petróleo otorgando empleo “a más de 25 millones de personas en el mundo” de acuerdo con [11].

1.1.1 Historia del café

Se menciona que el café es originario en el continente africano, Etiopia se la reconoce como la cuna del café, haciéndolo uso de este grano en este país desde tiempo inmemorial, donde se extendió gradualmente por toda la Arabia, luego llega a Egipto, al Cairo, pasó después por Siria, principalmente a Damasco y Alepo. Al principio del siglo XVIII Arabia suministraba a la Europa todo el café que se consumía, cansados de pagar precios fuertes de este producto, los europeos trataron de cultivar el árbol que lo produce y es criado en el jardín de plantas en París. En 1748 es introducido en Cuba y en 1769 en Puerto Rico gracias a la emigración de los colonos franceses, llega al continente americano a México en los años 1817 [12].

- **Historia del café en América Latina**

A causa de la revolución haitiana [13], manifiesta que muchos oriundos y emigrantes europeos escaparon a Brasil y llevaron consigo la planta de café, convirtiendo a Brasil en el primer productor en América Latina, en Colombia en el año 1732 se planta las primeras semillas, a cargo de misioneros Jesuitas españoles. El resto de países sudamericanos lo introducen desde el siglo XVIII con fines de producción y comercialización en Ecuador, Venezuela, Perú y Bolivia. La expansión de terreno por parte de las plantaciones de café transforma paisajes en las regiones intertropicales de media altura.

- **Historia del café en Ecuador**

Señalan [14], que en el Ecuador la caficultura empieza en los años 1800, a inicios del siglo XX, en los años 90 más consumidores empiezan a exigir un mejor café, se crea un nicho de mercado “café especiales”, dando nuevas metas y capacitaciones para los caficultores [15], realiza una investigación sobre los antecedentes del café y menciona que el Ecuador en el año 1860 se lo cultiva en la provincia de Manabí, principalmente en los cantones de Jipijapa, 24 de Mayo, Paján y Santa Ana.

La producción de café en Manabí en el año 1903 enfrenta una crisis en los precios y pierde importancia hasta llegar al abandono, hasta 1905 cuando se vuelve a intentar, pero esta vez se logra tener éxito logrando establecer a Ecuador como un país de exportación a los países europeos, a través del puerto de Manta, siendo así la provincia con más producción en el país. Según el III Censo Agropecuario en el año 2000 alrededor de 100.000 hectáreas estaban constituidas por sembríos de café, en la actualidad cuenta aproximadamente 70.000 hectáreas.

1.2 Propiedades del café

La fruta del café (también llamada baya o cereza) consiste en un suave piel externa o pericarpio resistente, generalmente verde en frutas verdes pero que se vuelve rojo violeta o rojo intenso cuando está maduro (incluso amarillo o naranja en genotipos particulares). El pericarpio cubre la suave amarillenta piel y a la pulpa dulce o mesocarpio exterior. Esto es seguido por un translúcido, capa de mucílago incolora, delgada, viscosa y altamente hidratada. (También llamada la capa de pectina). Luego,

hay un endocarpio delgado de color amarillento en color, también llamado pergamino. Finalmente, la piel plateada cubre cada uno de los hemisferios del grano de café (endospermo) como se indica en la Figura 1, [18].

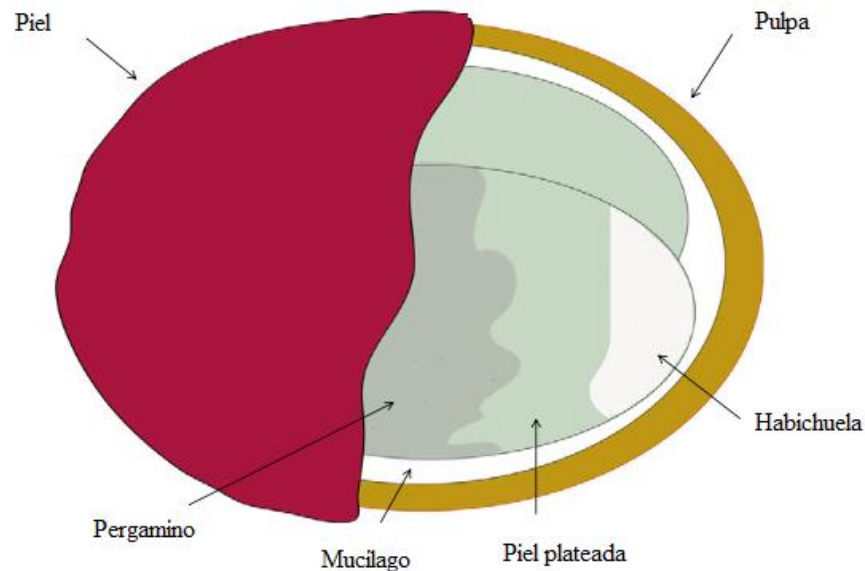


Figura 1. Capas de una fruta de café [18]

Las cáscaras de café están compuestas por la piel exterior de la baya del café, la pulpa y el pergamino, principalmente resultantes de la elaboración del café en seco, estos son ricos en hidratos de carbono (35%), proteínas (5,2%), fibra (30,8%) y minerales (10,7%).

La fracción de mucílago del café permanece adherida al grano de café en el procesado en húmedo después del despulpado. Este método permite la separación y concentración de esta fracción, el mucílago está compuesto de agua (84.2%), proteína (8.9%), azúcar (4.1%) y cenizas (0,7%).

El pergamino se separa de los granos de café verde junto con la cáscara y la pulpa, en un solo paso. Sin embargo, en el procesamiento húmedo, el pergamino se retira después de secar y descascar por separados. El pergamino de café está compuesto por celulosa (40–49%), hemicelulosa (25–32%), lignina (33–35%) y ceniza (0.5–1%) [18].

1.2.1 Tamaño del café

Los tamaños de café se conocen como grados, debido a una similitud general que tiene el tamaño de un grano y su calidad. Hay numerosos factores que afectan el sabor de un café. Anteriormente hemos discutido muchos de ellos, como la elevación y la variedad. Sin embargo, si todos los demás factores son iguales, un grano de café más grande generalmente producirá un brebaje de mayor calidad que uno más pequeño.

Antes de exportarse desde su país de origen, los procesadores usan pantallas para clasificarlas por tamaño. Los granos se filtran a través de pantallas, que son láminas de metal con orificios redondos perforados de tamaño específico. (Las pantallas utilizadas para los arándanos tienen orificios alargados, que se asemejan más a la forma alargada de los arándanos). Las pantallas están numeradas del 8 al 20, el rango de pantallas tiene cantidades de 64 centésimas de pulgada que son los orificios. Por ejemplo, una pantalla de tamaño 8 tiene agujeros de 8/64 pulgadas de ancho, y una pantalla de tamaño 20 tiene agujeros de 20/64 pulgadas de ancho.

El tamaño de una selección se determina pasándolo a través de las pantallas hasta que no pase por el siguiente tamaño más pequeño. Por ejemplo, si un café pasa a través de una pantalla de tamaño 18 (18/64 pulgadas) pero no de tamaño 16 (16/64 pulgadas de ancho), se clasifica como tamaño 18. Esta medida rara vez es perfecta. Tradicionalmente, las pantallas con números pares se utilizan para las selecciones del Arábica, y las pantallas con números impares se usan para las Robustas. Por lo tanto, un lote de Arábica que se calificó en tamaño de pantalla 18 técnicamente podría ser 17/18, ya que la siguiente pantalla más pequeña utilizada para Arábicas es generalmente el tamaño 16 [20].

Al clasificar al grano de café, existen diversidad de tamaños de granos, los considerados muy grandes pueden no ser particularmente tomados en cuenta, ya que son suaves o deformes. Tales granos se hacen notables en el aspecto asado o secado. Se pueden quitar por medio de una máquina de tamizado con una pantalla de criba número 20. Existen granos de café denominados elefantes (café que se entrelazan en la cereza y que se rompen fácilmente, cuando se someten a un molido y luego cuando son

asados). El café por medio de las cribas giratorias o con agitación se clasifica, planchas de metal reemplazables que tienen orificios redondos con diferentes tamaños de cribas que permiten que pasen cafés más pequeños. Las pantallas de metal con cribas se enumeran con números (ejemplo, robusto grado 1, con numero de criba 16), además por medio de letras (ejemplo, arábica de grado AA, de un café en negrilla), o por imágenes (ejemplo, en negrilla, frijol mediano o pequeño). Dependiendo de la forma de comercializarlo en los diferentes países. Los tamaños de criba intermedios (ejemplo, criba de 16.5), algunos países los toman en cuenta, mientras en otros no. En conclusión, se clasifica el café para descartar los granos más grandes y pequeños, granos rotos y distintas partículas [21]. Se detalla en la Tabla 1, a continuación.

Tabla 1. Dimensiones de la criba redonda de café estándar [21]

Numero de pantalla	10	12	13	14	15	16	17	19	19	20
Dimensiones ISO (mm)	4.00	4.75	5.00	5.60	6.00	6.30	6.70	7.10	7.50	8.00

No siempre es fácil o posible lograr una criba con una precisión del 100% (p. Ej., Sin pasar por la pantalla 16). Cuando se requiere una criba con una precisión del 100%, el aumento del tamaño de los orificios para proporcionar una pequeña tolerancia en la pantalla puede proporcionar el resultado requerido.

La criba o tamaño de pantalla expresa el diámetro de las perforaciones en el tamiz por el cual pasan los granos. Estos están expresados en múltiplos de 1/64 de pulgada, siendo los más utilizados las cribas de la 12 a la 20, es decir, diámetros de 4,76 a 7,94 milímetros.

A continuación, se detalla en la ilustración 1, la tabla de clasificación del grano de café según su tamaño, según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN [19].

Ilustración 1. Tabla de clasificación del grano de café según su tamaño [19]

Forma del grano	No. De la criba	Diámetro del agujero mm	Tamaño del grano de café
Normal Aplanado	20	8,00	Muy grande
	19	7,50	
	18	7,10	Grande
	17	6,70	
	16	6,30	Mediano
	15	6,00	
	14	5,60	Pequeño
	13	5,00	Muy pequeño
	12	4,75	
	11	4,36	
		Ancho de las aberturas en mm	
Caracol	12	4,75	Mediano
	11	4,36	
	10	3,96	pequeño

De acuerdo con [22] los desperfectos en los granos son inevitables, por lo que deben incorporarse al proceso:

“Los granos de café pueden traer desperfectos, anormalidades, enfermedades o apatías en la recolección y el proceso de producción del café. Todas las imperfecciones se van separando conforme va pasando por los procesos de producción, pero a veces, es inevitable que aparezcan en una mínima cantidad. Por tanto, la cantidad de defectos también se utilizará para clasificar a un café de calidad”.

El método de tamizado del café se desarrolló a partir de la teoría de que los cafés que se cultivan a grandes alturas son más densos y grandes, y al mismo tiempo generalmente tienen el mejor perfil de sabor. De esto se puede deducir que hay una relación entre el tamaño de grano de café, la densidad y su calidad. Si bien, por supuesto, hay excepciones a esta teoría, el objetivo principal es producir granos de tamaño uniforme, para que se pueda lograr un tostado uniforme.

Para el caso específico del café Río Intag el primer tamizado se encarga de separar los granos en tres pantallas, la primera de 5mm, la segunda de 6 mm y finalmente de 8 mm. Con esto se asegura que los granos están en un rango de tamaños de 5mm a 8 mm

de diámetro, lo que permite separar fácilmente los granos muy pequeños o grandes que afectarían la homogeneidad del producto en el proceso posterior de tostado.

a) Grado 1: Granos de café de grado especial.

Este es el grado más alto de granos, y para ser clasificado como Café de Grado 1, los granos no deben tener de 0-3 defectos completos, con un máximo del 5% por encima y por debajo del tamaño de pantalla especificado. Al ahuecar, estos cafés deben tener un atributo distintivo en una de las áreas de sabor, acidez, cuerpo o aroma, y estar libres de defectos y manchas.

b) Grado 2: Granos de café de calidad superior

El segundo grado más alto, y el que más a menudo se bebe, estos granos son iguales a los granos de café de Grado 1, pero se les permite un máximo de 0-8 defectos.

c) Grado 3: granos de café de grado de intercambio

Estos frijoles tendrán un 50% por encima de la criba y un 5% por debajo, con un máximo de 5 cuáqueros, sin fallas, pero se permiten entre 9 y 23 defectos completos. Las marcas de supermercados están usando estos frijoles.

d) Grado 4: granos de café de grado estándar

Estos tendrán de 24 a 86 defectos completos por 300g. Estos se están metiendo en territorio poco fiable.

e) Grado 5: granos de café fuera de grado

Realmente no quieres estos cafés, tienen más de 86 defectos completos por cada 300 gramos. Un ejemplo de varios defectos que tiene el café se indica en la Figura 2.



Figura 2. Varios defectos que se encuentra en el café [23]

1.2.2 Formas del café

Hay una gran variedad de factores que pueden afectar el tamaño del grano. Obviamente, las condiciones de crecimiento pueden variar, y a menudo hay variaciones de tamaño dentro de un solo cultivo. Tenga en cuenta que el café es un producto agrícola. Nadie parpadea cuando una cosecha de manzanas o naranjas tiene una gran variedad de tamaños, pero muchas personas parecen preferir que sus granos de café tengan un tamaño más uniforme. La mayoría de los lugares logran esto con la clasificación, pero hasta cierto punto es artificial.

El factor más importante en la forma de un grano de café es la variedad botánica de la planta. No hay una cantidad de nutrición o condiciones de crecimiento que puedan superar el efecto de la genética.

En la Figura 3, se indica diversas formas de granos de café que se dispone a nivel mundial.



Figura 3. Formas de granos de café a nivel mundial [22]

1.3 Reseña de la comunidad

Intag es una Región Andina ubicada en Imbabura, al Norte de Ecuador. Está asentada a una altura por sobre los 1800 metros sobre el nivel del mar, incluye una de las áreas con la mayor biodiversidad en la tierra. El área es parte de dos zonas biológicas importantes: los Andes tropicales y Tumbes Chocó Magdalena. Más de 17 mil personas viven en las diferentes comunidades de Intag, entre bosques nubosos y tierras agrícolas. Casi toda su población se dedica a la agricultura en pequeña escala. Debido a la gran variedad altitudinal del área, plantan una impresionante cantidad de productos como café, cacao, caña de azúcar, maíz, frijoles, papas, bananas y naranjilla. Su agricultura es muy importante para las provincias de Otavalo e Ibarra. En la Figura 4 se detalla un mapa geográfico de la Zona.



Figura 4. Ubicación Geográfica de la Zona de Intag [24]

1.4 Tamizado

El análisis de tamiz es un procedimiento que determina la clasificación del tamaño o forma de cualquier partícula de un material. El proceso separa las partículas finas de las partículas más claras al pasar el material a través de una serie de tamices de diferentes tamaños de malla. Esto permite medir la fracción de masa de partículas dentro de cada rango de tamaño y construir una distribución de masa acumulativa. El análisis de tamices es el método más antiguo y conocido que se usa para caracterizar las distribuciones de tamaño de partículas y se emplea en varias industrias [25]. El material que se analiza se hace vibrar a través de una serie de tamices que disminuyen secuencialmente utilizando un solo movimiento de rotación horizontal o vertical, o una combinación de ellos. Las partículas en movimiento, eventualmente, se orientarán para presentar sus 2 dimensiones más pequeñas a la abertura de la malla del tamiz y pasarán al siguiente tamiz de abertura nominal más pequeña, como se indica en la Figura 5.

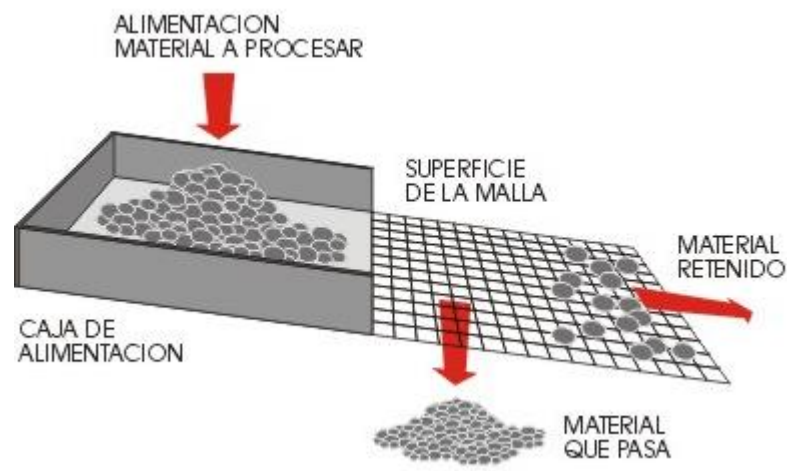


Figura 5. Principio de funcionamiento del tamiz [26]

1.4.1 Definición de Tamizadora

Cualquier material seco que fluya libremente puede manipularse en un tamiz, incluidos los polvos farmacéuticos y cosméticos; astillas de madera y harina de madera; minerales tales como piedra caliza, piedra pómez y sílice; productos alimenticios como harina de trigo, azúcar y bicarbonato de sodio; plásticos y caucho; y pigmentos como el negro de humo. El tamiz separa mecánicamente el material de acuerdo con el tamaño de partícula individual moviendo el material en relación con una pantalla.

1.4.2 Materiales de fabricación de una tamizadora

El tamiz se compone de cinco elementos principales producidos de materiales de construcción, es decir el cuerpo de acero inoxidable, la rejilla de acero inoxidable, bridas de unión de aluminio, cuerpo de cojinetes de acero fundido pintado y tolva de descarga de acero galvanizado. En función de la destinación y necesidad de la tamizadora puede estar equipada de sistemas de mando automático, una sonda del nivel líquido, una válvula electromagnética del sistema y una tapa con una tubería de ventilación.

1.4.3 Vibradores eléctricos

El diseño de los vibradores eléctricos (Figura 6), tiene como principio de funcionamiento una masa excéntrica que, al girar por la acción de un motor eléctrico, produce una vibración, las masas que desequilibran al motor se encuentran en los extremos del accionamiento eléctrico y son regulables dichas masas. Estas vibraciones tienen diferentes aplicaciones como transporte vibratorio, acabados en pequeñas superficies en la eliminación de rebaba, separación de piedras, arena y granos. La selección de uno de estos vibradores se basa en los requerimientos puntuales para cada aplicación, asegurando un continuo flujo de vibración constante y uniforme. Además, generando costos casi nulos en la parte de mantenimiento y generando gran solidez mecánica.



Figura 6. Modelo de un motor vibratorio [31]

1.4.4 Tipo de tamizadora

Las tamizadoras industriales habituales se clasifican en tres tipos básicos, las tamizadoras vibratorias, las centrífugas y las rotatorias – recíprocas, cada uno tiene una tarea en la que se desenvuelve de manera más eficiente, por lo que se puede enlistar las siguientes ventajas y desventajas de cada una.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los tipos de tamizadoras

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Vibratoria	Compactas Pocas partes móviles	Clasificación lenta Ruidosas
Centrífuga	Clasificación rápida	Ocupa mucho espacio
Rotatoria- recíproca	Separa sólidos de líquidos	Su capacidad de clasificación es la menor entre los tres tipos

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

A continuación, se presenta de manera más detallada cada tipo de tamizadora.

1.4.5 Tamiz vibratorio

En la Figura 7, indica un maquina tipo tamiz vibratorio, las cribas vibratorias son de alta frecuencia, principalmente utilizadas en el ámbito de la industria de procesamiento de minerales y alimentos. Se utilizan para separar material que contienen minerales sólidos y triturados con un tamaño máximo de 200 μm , la frecuencia de las pantallas vibratorias es controlada por un vibrador electromagnético que está montado en la parte de arriba de la máquina y directamente a la superficie de la pantalla. Lo que le

diferencia a los diferentes tipos de tamiz, es la alta frecuencia de vibración de las pantallas, que operan en un ángulo inclinado, que varían entre 0 y 25 grados, llegando máximo a 45 grados, este tipo de tamizadora el óptimo funcionamiento de sus frecuencias están entre 1500 a 7200 RPM. La idea primordial de la tamizadora vibratoria no es clasificar el producto por tamaños, sino separar impurezas que puede tener el material [28].



Figura 7. Tamiz vibratorio [29]

1.4.6 Tamiz centrífugo

El producto, alimentado por un dispensador o transportador neumático, se introduce en el barril a través de un transportador de tornillo que regula el flujo a la sala de tamizado. Un eje giratorio con contraventanas distribuye el producto en las paredes de las mallas tamizadas cilíndricas mediante la aplicación de una fuerza centrífuga. El producto tamizado pasará a través de la malla y caerá a la tolva de descarga, conectado al transportador neumático o al tanque receptor. Los restos y cuerpos extraños, en cambio, son atrapados por la malla y transportados hacia la salida de chatarra, que puede equiparse con un tanque colector con sensor de carga completa. Un ejemplo se indica en la Figura 8.



Figura 8. Tamiz centrífugo [27]

1.4.7 Tamiz Rotatorio-recíproco

El tamiz rotatorio-recíproco (Figura 9), es un mecanismo diseñado para el filtrado o tamizado de líquidos, los cuales tengan una proporción de sólidos en expulsión, con la capacidad de tamizar partículas sólidas desde 0.15 mm hasta 5 mm. su función principal es la separación de sólido-líquido en una determinada proporción. El líquido por filtrar entra por una tubería situada en la parte superior, trasera o lateral, distribuido a lo largo del tambor filtrante, cuya función se encuentra girando. Las partículas retenidas se encuentran en la superficie del cilindro que, por medio de su función de rotación, las partículas son desplazadas hacia las paredes, encargadas de separar por medio de una bandeja de descarga. El líquido se filtra a través de la malla del tambor, aliviando el afluente que pasa a través de ella y finalmente llegando a una tubería de salida.



Figura 9. Tamiz Rotatorio-recíproco [30]

CAPÍTULO II

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 Selección de tipo de tamizadora

Para seleccionar el tipo de tamizadora a desarrollar se considerarán las alternativas definidas en el capítulo 1, excepto el tamizado rotatorio centrífugo ya que este se utiliza en la separación de sólidos y líquidos. En la Tabla 3 se presentan las alternativas que se van a analizar.

Tabla 3. Alternativas de desarrollo

ALTERNATIVA	TIPO DE TAMIZADORA
1	Tambor rotatorio
2	Tambor con paletas giratorias.
3	Vibratoria

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.2 Alternativa 1 - Tamizadora de tambor rotatorio

La tamizadora de tambor rotatorio es una alternativa que brinda diversas aplicaciones, con pequeñas a medianas capacidades de producción. Su movimiento radica en que a medida que el tambor gire, los sólidos caen libremente a cierto ángulo y cierta velocidad, reteniendo los sólidos de mayor tamaño y separando por secciones los sólidos más finos. Las ventajas de la tamizadora es el bajo costo de su instalación, mantenimiento y operación, posee una alta capacidad de tamizado respecto a la velocidad que rote el tambor, su empleo es de mayor velocidad comparando con la tamizadora de paletas rotativas, cuenta con secciones desmontables a lo largo del tambor, para un fácil cambio de criba, como desventajas se tiene la dificultad de la limpieza del tamiz rotatorio, limitaciones a ciertas velocidades puesto a que el sólido pueda llegar a romperse. Un ejemplo de este principio de funcionamiento lo podemos observar en la Figura 10.

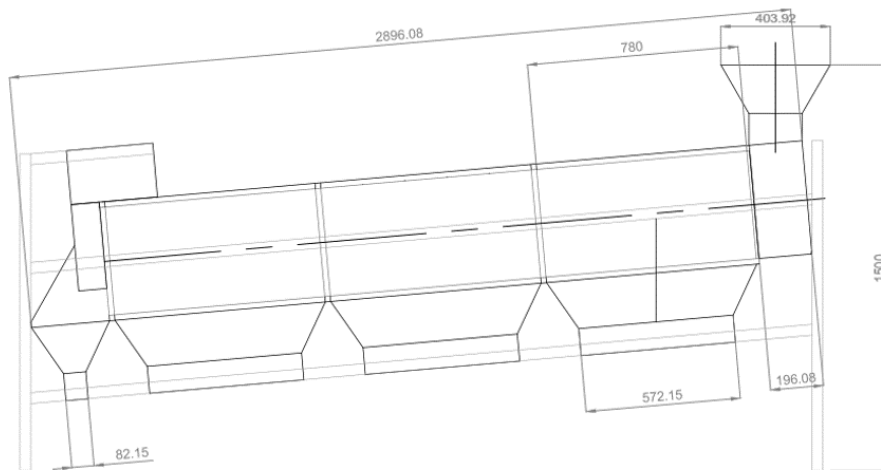


Figura 10. Diagrama de funcionamiento de una tamizadora de tambor rotatorio

2.3 Alternativa 2 - Tamizadora de paletas

Las paletas en esta alternativa funcionarían como un sistema de distribución del grano a lo largo de las cribas, éstas estarían unidas a un eje fijo. Una conceptualización de esta alternativa se presenta en la Figura 11. En esta figura se presenta la conceptualización de una tamizadora con una alimentación, tres clasificaciones y una salida de desecho, la parte central en rojo representaría el eje móvil a los que estarían unidos las paletas, representados en este caso como un tornillo sin fin.

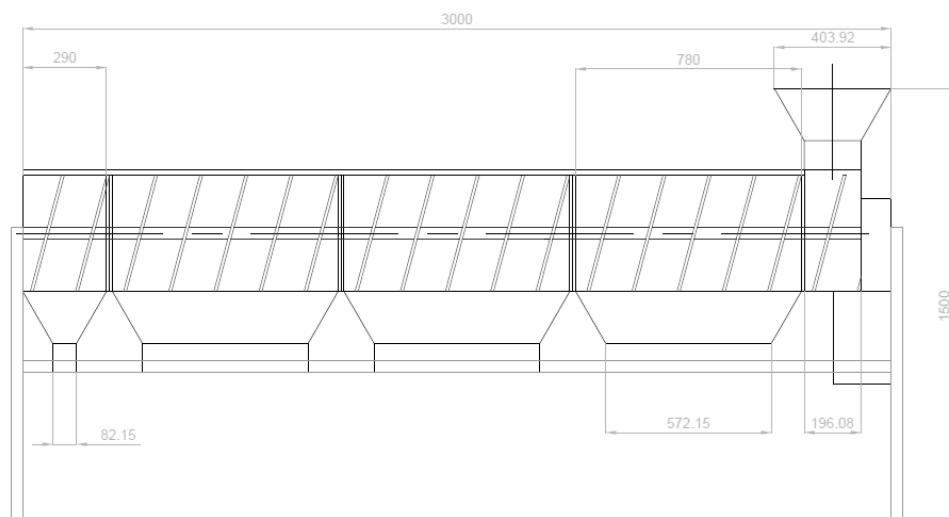


Figura 11. Concepto de una tamizadora de tambor con paletas giratorias. . Elaborado por: Abraham Espinosa % Fabricio Varela

2.4 Alternativa 3 - Tamizadora vibratoria

La tamizadora vibratoria es una alternativa aplicada a la parte industrial con grandes producciones de tamizado y utilizados en varios procesos para la separación de materiales cristalinos, granulares, alimenticios (aplica tanto a los alimentos perfectamente humedecidos como los secos), controladas principalmente por un motor vibrador electromagnético que está montado en el bastidor de la tamizadora, su característica de vibración lo diferencia de las otras tamizadoras, usualmente operan en un ángulo inclinado, variando entre 0 y 25 grados y pueden llegar a un máximo de 45 grados, logran una alta eficiencia de separación, además, el alto nivel de RPM contribuye a aumentar la estratificación del material para que se separen a una tasa mucho mayor. Las limitaciones de las tamizadoras vibratorias son las pantallas muy frágiles y susceptibles de bloquearse o taparse muy fácilmente, con el tiempo la eficiencia de la separación disminuirá y la pantalla deberá reemplazarse. Un ejemplo de este principio de funcionamiento lo podemos observar en la Figura 12.

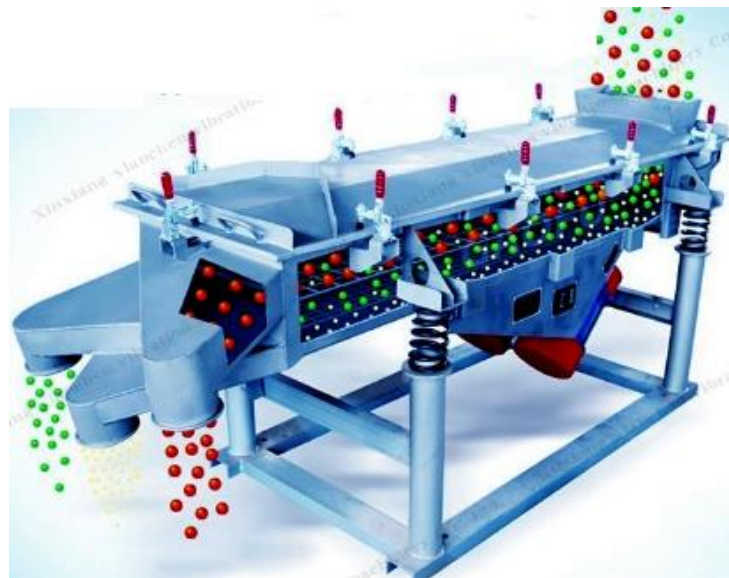


Figura 12. Diagrama de funcionamiento de un tamiz vibratorio [32]

2.5 Método de selección

Para seleccionar el tipo de tamizadora a desarrollar se calificará con niveles de uno a cinco cada uno los cuatro tipos de tamizadora en siete parámetros. En la Tabla 4 se presenta el significado de cada calificación en el análisis.

Tabla 4. Significado de la calificación

CALIFICACIÓN	SIGNIFICADO
5	Ideal
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Funcional
1	No adecuado

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Los parámetros en los que se va a calificar a los tipos de tamizadoras son:

- Costo
- Funcionalidad
- Capacidad
- Fabricación
- Facilidad de mantenimiento
- Seguridad
- Ruido

2.5.1 Costos

La tamizadora que se va a diseñar está dirigida a la planta de procesamiento de café de la asociación de caficultores Río Intag, la cual es una empresa mediana capaz de realizar inversiones en actualización de maquinaria para aumentar su producción, pero siempre con un enfoque en la optimización de gasto.

Cada tipo de tamizadora utiliza mecanismos de funcionamiento diferentes, su especialización aumenta directamente con su precio, por esta razón a mayor precio menor la calificación. Las alternativas 1 y 2 son diseños nuevos, por esta razón su producción sería más costosa que la alternativa 3, la cual si puede ser adquirida completamente ensamblada. En la Tabla 5 se califica el costo de las cuatro alternativas.

Tabla 5. Calificación y análisis del costo

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	El tambor rotatorio hecho de cribas especializadas para café de acero inoxidable, tendrían un costo elevado.	3
2	Las paletas serían numerosas y su costo se elevaría aún más si son diseñadas especialmente.	3
3	Un costo adecuado debido a que solo es accionado por motores eléctricos controlado con un PID	4

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.2 Funcionalidad

Se considerará a la funcionalidad de las alternativas como a la capacidad de cada tipo de tamizado para realizar su trabajo con la menor cantidad posible de errores en la clasificación. En la Tabla 6 se pondera cada alternativa según su funcionalidad.

Tabla 6. Calificación y análisis de la funcionalidad

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	El error de clasificación es posible, pero se puede regular con la inclinación y la velocidad de giro del tambor.	4
2	El error de clasificación depende de la velocidad de alimentación de alimentación de grano.	4
3	Los errores dependen de la frecuencia y potencia de vibración y del tamaño de la pantalla.	3

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.3 Capacidad

La capacidad en este análisis es la masa de grano capaz de procesar por unidad de tiempo, ya que es un asunto de vital importancia según lo expresado por los administradores y operarios de la planta, debido a que actualmente la tamizadora vibratoria es un cuello de botella en la planta. Ésta es una de las razones detrás del desarrollo de esta tesis. En la Tabla 7 se realiza el análisis de la capacidad de procesamiento de los tres tipos de tamizadoras.

Tabla 7. Calificación y análisis de la capacidad

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	El sistema es el de mayor capacidad entre los tres.	5
2	La capacidad es sensible y se debe calibrar cuidadosamente.	3
3	Clasifica a una velocidad por debajo de lo aceptable.	2

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.4 Fabricación

La fabricación tiene en cuenta la complejidad de diseño, construcción e instalación, por ello, es proporcional al costo y a la capacidad de esta. El primer tipo de tamizado no requeriría mayor análisis, en lugar de esto se necesitaría una retroalimentación por parte de los operarios para perfeccionar su diseño y volverlo cómodo para su uso. La alternativa centrífuga sería la más compleja debido a que no existe ejemplos reales de los cuales se puedan obtener críticas por partes de operarios.

La Tabla 8 presenta los análisis de facilidad de fabricación de las distintas alternativas.

Tabla 8. Calificación y análisis de la fabricación

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	Fabricación compleja y gran número de partes.	2
2	Gran número de paletas, eje de tres metros.	3
3	Es el sistema actualmente utilizado y utiliza pocas partes móviles	4

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.5 Facilidad de mantenimiento

La facilidad de mantenimiento depende de la cantidad de partes móviles y desmontables de la misma. Un tamizador manual no utilizaría accionamiento artificial, por lo que solo se debería dar mantenimiento a sus partes desmontables. La tamizadora centrífuga tiene ejes móviles, un motor eléctrico y casi toda la tamizadora sería desmontable, por lo cual la cantidad de mantenimiento necesario sería muy alto. La tamizadora vibratoria son dos estructuras rígidas conectadas por medio de una amortiguación, su accionamiento es netamente por el motor vibrador y las partes

desmontables son las pantallas clasificadoras, la facilidad de mantenimiento es alta. En la Tabla 9 se presentan las calificaciones dadas a las alternativas presentadas.

Tabla 9. Calificación y análisis de la capacidad

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	Sistema de desmontaje del tambor complejo.	4
2	Gran número de paletas sometidas al desgaste.	3
3	Su mantenimiento no es muy complejo.	5

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.6 Seguridad

La seguridad en el funcionamiento es un aspecto que se toma con mucha atención en la actualidad, para evitar en lo posible el peligro al operar la maquinaria. En el caso de la tamizadora de tambor rotatorio la seguridad dependería del operario al momento de su funcionamiento con una adecuada distancia y un correcto cambio de cribas en las secciones del tambor. La tamizadora de paletas rotativas, debido a la velocidad necesaria para su funcionamiento sería peligroso si no se toma una correcta distancia al momento de operación de la máquina y tener los conocimientos adecuados en el cambio de cribas y la tamizadora vibratoria debería tener protecciones en sus suspensiones para que el operario no introduzca sus manos por error. En la Tabla 10 se presenta las calificaciones de seguridad de las alternativas.

Tabla 10. Calificación y análisis de la seguridad

ALTERNATIVA	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	La seguridad depende del operario y manipulación de cambios de elementos mecánicos.	5
2	Velocidades de funcionamiento altas, varias partes móviles, distancia apropiada, cambio de elementos mecánicos.	5
3	Pocas partes móviles, solo necesita cubiertas.	4

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.5.7 Ruido

En el aspecto de ruido tomamos en cuenta la fuerza del sonido provocado por la tamizadora mientras funciona, mientras más alto el ruido menor calificación. La razón para calificar este aspecto es debido a que fue uno de los aspectos que mencionaron interés los operarios de la maquinaria, expresaron que la máquina que disponen, actualmente, genera demasiado ruido, al inspeccionar se encontró varios puntos de contacto metal-metal en partes móviles y que estaba anclado al piso de concreto sin ningún tipo de amortiguación. En la Tabla 11 se detalla el análisis del ruido.

Tabla 11. Calificación y análisis de del ruido

TIPO	ANÁLISIS	CALIFICACIÓN
1	Ruido alto debido al giro del tambor metálico a elevadas revoluciones.	3
2	Ruido moderado a las bajas velocidades de giro de las paletas.	4
3	Ruido alto por movimiento de la estructura superior de la tamizadora.	2

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

2.6 Ponderación de resultados

Para la calificación final se ponderará cada aspecto calificado. El costo y la capacidad serán los aspectos más importantes, seguido por la funcionalidad, seguridad y fabricación, finalmente se dará prioridad al ruido y a la facilidad de mantenimiento. En la Tabla 12 presentamos el resumen de las calificaciones y la ponderación de cada aspecto. Finalmente se obtiene una calificación de cada alternativa sobre 5 puntos.

Tabla 12. Calificación final por ponderación

ASPECTO	PONDERACIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Costo	19%	3	3	4
Funcionalidad	16%	4	4	3
Capacidad	23%	5	3	2
Fabricación	12%	2	3	4
Mantenimiento	7%	4	3	5
Seguridad	14%	5	5	4
Ruido	9%	3	4	2
Calificación ponderada		3.86	3.53	3.26

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Según lo mostrado en la calificación ponderada de la Tabla 12, la tamizadora centrífuga es la mejor opción debido a su capacidad de clasificar correctamente una gran cantidad de grano, sus aspectos más débiles y a los que se debe prestar especial atención es al diseño para su fabricación.

CAPÍTULO III DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 Análisis de cargas

3.1.1 Dimensiones generales del tambor giratorio

El factor principal y por lo tanto limitante de la tamizadora es el tamiz mismo, deberá ser liviano, de acero inoxidable, con los diámetros estandarizados para la criba de café y estar disponibles para su venta en el territorio ecuatoriano. Tomando en cuenta estas limitaciones se ha decidido utilizar planchas perforadas de acero inoxidable de 1,5 mm, disponible en la distribuidora REPERMETAL® ubicada en el norte de Quito, en catálogos y en almacén disponen planchas perforadas de diámetros métricos desde 4 mm, pero que son aplicables según [33].

Las planchas están disponibles en dimensiones de 1 m x 2 m, por lo que se usaran estos 2 m para formar la circunferencia del tambor, por lo tanto, el diámetro del tambor giratorio será de:

$$\text{Perímetro} = \pi \times \emptyset \quad (1)$$

$$\emptyset = \frac{\text{Circ}}{\pi} = \frac{2 \text{ m}}{\pi} = 636.6 \text{ mm}$$

Se decidió que la tamizadora tendrá tres clasificaciones, con un límite de acuerdo con el espacio disponible en las instalaciones permite un largo máximo de 3 metros. Además, hay que tomar en cuenta el espacio necesario para el mecanismo motor y los soportes, por lo que el largo aconsejable del tambor giratorio llegará a ser de 2 250 mm.

3.1.2 Masa de grano dentro del tamiz

El grano de café se depositará en un extremo del tambor ligeramente inclinado mientras esta gira y recorrerá su largo por acción de la gravedad. Siguiendo este razonamiento se considerará razonable que una cantidad máxima de grano presente en el tambor se deposite hasta la cuarta parte de su diámetro, por esto el volumen será

calculado de acuerdo con un cilindro cortado por un plano en la cuarta parte como se muestra en la Figura 13.

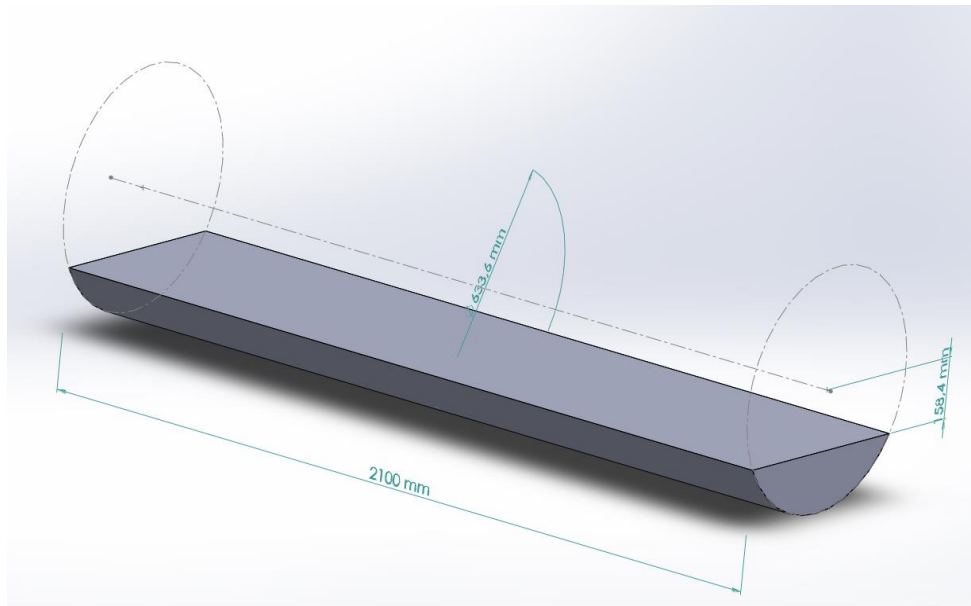


Figura 13. Dimensiones del volumen utilizado por el grano

Por lo tanto, el volumen total es de $0,1294 \text{ m}^3$, además, con una densidad máxima del grano de café seco de $385,7 \text{ kg/m}^3$ [34] nos permite calcular la masa de grano máxima soportada por el tamiz rotatorio.

$$0,1294 \text{ m}^3 \times 385,7 \text{ kg/m}^3 = 49,91 \text{ kg}$$

3.1.3 Masa del tambor giratorio

Para dar la opción de desmontar e intercambiar los tambores se tomó la decisión de dividir cada clasificación en dos, por lo que en total el tambor giratorio constará de seis secciones de 750 mm de largo cada una. Por esta razón, es necesario añadir bridas por fuera del tamiz giratorio en cada extremo de cada sección con seis perforaciones distribuidas de manera uniforme, con el fin de permitir instalar pernos y tuercas para rigidizar este conjunto.

Se debe añadir soportes en los extremos que se conecten a manzanas que a su vez se conecten a los ejes en sus extremos apoyados en rodamientos, los cuales soportarán el peso del conjunto. Esto fue modelado en SOLIDWORKS®, añadiendo bridas de conexión de 25 mm x 3 mm de acero, por lo que el resultado de masa del conjunto

giratorio alcanza exactamente 49,91 kg, como se muestra en las Figuras 14 y 15, esto sumado a la masa máxima de grano en la tamizadora resulta una masa de 94,75 kg, lo que equivale a una carga de 929,5 N.

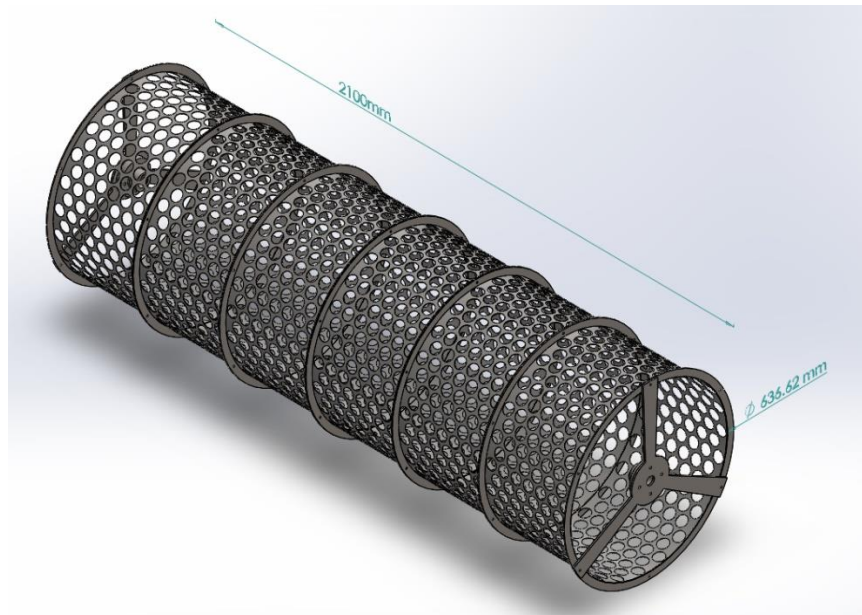


Figura 14. Modelado conceptual del tambor

Propiedades de masa de Tamiz dem
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
Masa = 46.38 kilogramos
Volumen = 5961074.81 milímetros cúbicos

Figura 15. Resultados de la simulación de la masa del conjunto de tambor giratorio

3.1.4 Cargas radiales y axiales

Adicionalmente, por razones de seguridad se aumenta la carga dos terceras partes, dando un total de 1549 N. El tambor debe estar inclinado para que el grano recorra su largo por acción de la gravedad, dando un máximo de 8° a la inclinación. Por lo tanto, las cargas en los rodamientos tienen componentes axial y radial en el extremo inferior y puramente radial en el rodamiento superior. Estas cargas se calcularán de acuerdo con las reacciones provocadas por la inclinación de la carga como se muestra en la Figura 16.

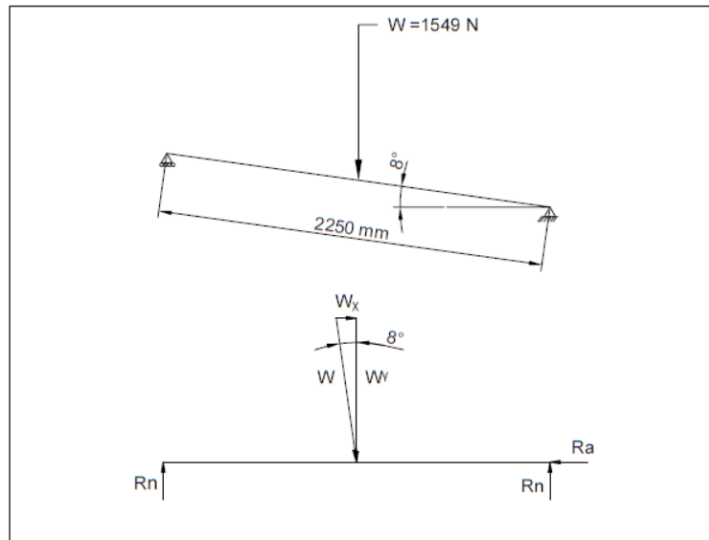


Figura 16. Reacciones ante la carga en los rodamientos. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Por lo tanto, los componentes de la carga son:

$$W_x = \sin(8^\circ) \times 1549 \text{ N} = 215,6 \text{ N}$$

$$W_y = \cos(8^\circ) \times 1549 \text{ N} = 1534 \text{ N}$$

De acuerdo con las siguientes ecuaciones 2 y 3 las cargas radiales en los dos rodamientos serán de:

$$\sum F_y = 0 \tag{2}$$

$$2 \times R_n - W_y = 0$$

$$R_n = \frac{W_y}{2} = 767,0 \text{ N} \tag{3}$$

Y siguiendo estos cálculos la carga axial en el rodamiento inferior será de:

$$\sum F_x = 0 \tag{4}$$

$$W_x - R_a = 0$$

$$R_a = W_x = 215,6 \text{ N}$$

3.1.5 Par de torque

De acuerdo con [35], el par de torque necesario para vencer la inercia del tambor con la carga se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\tau = I \times \alpha \quad (5)$$

En esta ecuación τ simboliza el torque aplicado al cuerpo, I es el momento de inercia con respecto al eje y α es la aceleración angular.

3.1.5.1 Cálculo de la aceleración angular

La aceleración angular será progresiva y llegará a una velocidad angular final de 80 rpm en cinco segundos, como indica la Figura 17, de acuerdo con el siguiente gráfico podremos calcular la aceleración angular.

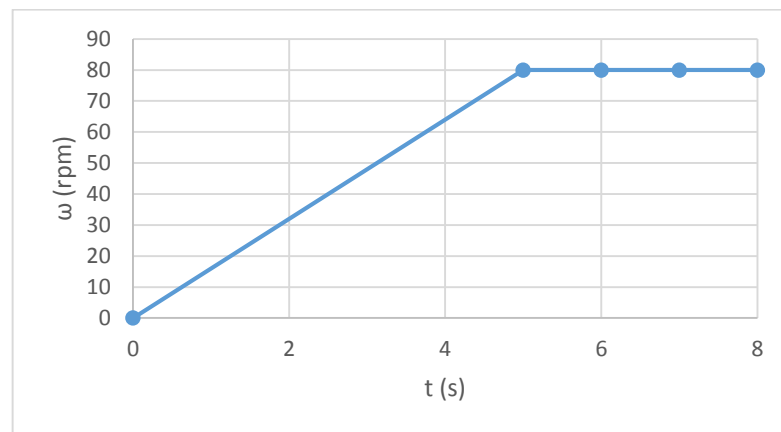


Figura 17. Velocidad angular vs tiempo. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

En los primeros cinco segundos la ecuación de la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{80[rpm] \times \frac{\pi}{30} \left[\frac{rad/s}{rpm} \right]}{5[s]} \times t = 1,676 \times t \left[\frac{rad}{s^2} \right] \quad (6)$$

La aceleración angular es igual a la derivada de la velocidad angular con respecto al tiempo, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial(1,676 \times t)}{\partial t} = 1,676 \left[\frac{rad}{s^2} \right] \quad (7)$$

3.1.5.2 Cálculo del momento de inercia del cuerpo con respecto al eje

Los cálculos del momento de inercia del conjunto del tambor de inercia más la masa de grano se los realizó en SOLIDWORKS®, el cual nos entregó un resultado en ($g \cdot mm^2$) desde el centro del eje del tambor, como se indica en la Figura 18.

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)	
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.	
lxx = 7467295117.73	lxy = -11736139387.17
lyx = -11736139387.17	lyy = 151488863787.30
lzx = 18515407.60	lzy = -4791150.73

Figura 18. Momentos de inercia del conjunto del tambor

$$I_{xx} = 7,467 \times 10^9 [g \times mm^2] \times \frac{1 [kg \times m^2]}{10^9 [g \times mm^2]} = 7,467 [kg \times m^2]$$

3.1.5.3 Par necesario para vencer la inercia

Como se indicó con la ecuación 5 se calculará el torque como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \tau &= I \times \alpha = 7,467 [kg \times m^2] \times 1,676 [rad/s^2] = 12,51 [kg \times m^2/s^2] \\ &= 12,51 [N \cdot m] \end{aligned}$$

3.1.6 Potencia mínima de motor requerida

De acuerdo con [36], la potencia requerida para girar un objeto es:

$$P = \tau \times n \quad (8)$$

En esta ecuación P representa la potencia requerida, τ es el par necesario para vencer la inercia y n es la velocidad angular en la que se va a trabajar, en este caso los 80 rpm o $8,378 \text{ rad/s}$. Lo que se muestra en el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} P &= \tau \times n = 12,71 [N \cdot m] \times 8,378 [rad/s] = 104,8 [W] \times \frac{1 [HP]}{745,7 [W]} \\ &= 0,1406 [HP] \end{aligned}$$

3.1.7 Par aplicado

Considerando el criterio de rendimiento y fricción, se seleccionará un motor NORD® con una potencia de 1,1 KW, con reductor de ejes paralelos [37], según catálogo, la velocidad de giro de salida más aproximada es de 83 rpm. Por lo tanto, el par entregado se podrá calcular con la ecuación ya presentada en el punto 5.4.

$$P = \tau \times n$$

$$1,100 \times 10^3 [W] = \tau \times 83[rpm] \times \frac{\pi[rad/s]}{30[rpm]}$$

$$\tau = \frac{1,100 \times 10^3 [W]}{8,692[rad/s]} = 126,6 [N.m]$$

3.2 Esquema

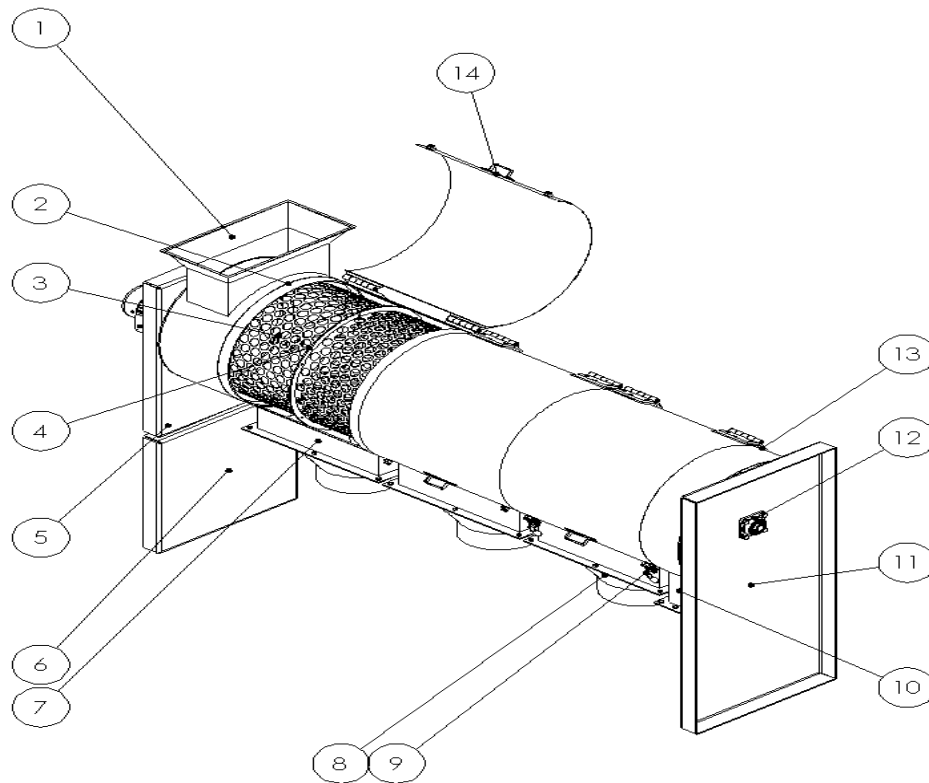


Tabla 13. Esquema de la Tamizadora de café

Numeración	Descripción
1	Tolva de entrada de producto
2	Estructura interna del tambor del tamiz
3	Plancha de tamiz
4	Anillo de conexión
5	Sección superior del bastidor
6	Sección inferior del bastidor
7	Tolva fija de salida del producto tamizado
8	Tolva intercambiable de salida
9	Sujeciones
10	Tolva de desechos de productos
11	Bastidor
12	Rodamiento
13	Bisagras
14	Manija de la tapa de tamiz

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

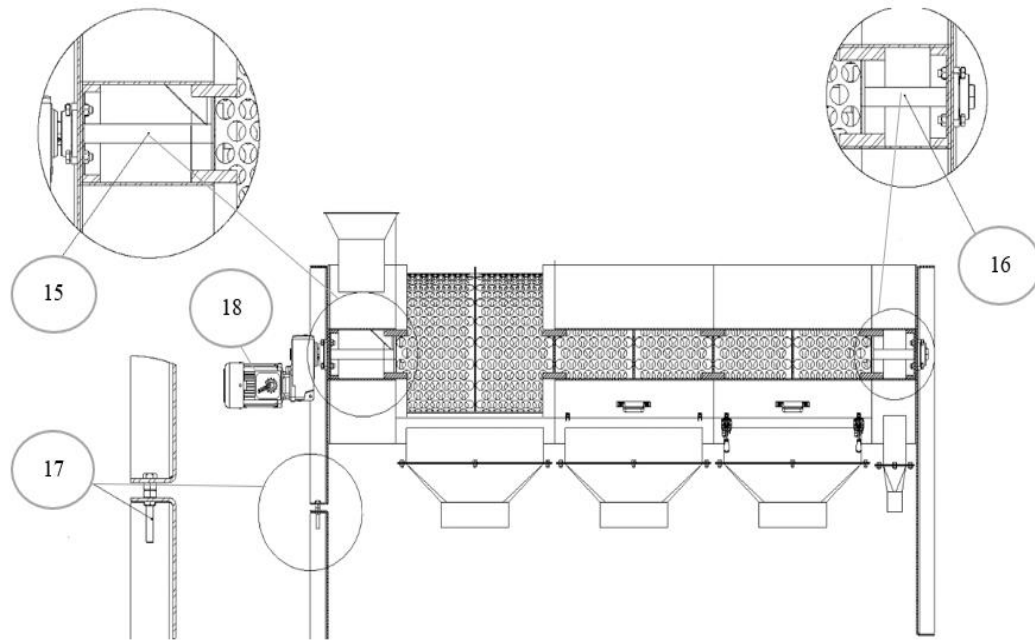


Tabla 14. Esquema de la Tamizadora de café

Numeración	Descripción
15	Eje del motor
16	Eje de soporte
17	Pernos regulables
18	Motor

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Para el diseño de los ejes se tomó como material referencial al Acero 1020 con un límite de tracción " S_{ut} " $420,507 \text{ N/mm}^2$ y límite elástico " S_y " $351,571 \text{ N/mm}^2$.

De acuerdo con el esquema realizado se diseñó la selección del material y la configuración de la geometría con los respectivos cálculos de esfuerzos y resistencias.

3.3 Eje de soporte

En el eje contiene el diseño de una chaveta de profundidad $2,53 \text{ m}$ y radio 6 mm , con factor de seguridad $\eta = 2$

Para comprobar el valor máximo de carga se tiene:

$$\delta_{perm} = \frac{Sy}{n} = \frac{351,571 \frac{N}{mm^2}}{2} = 175,5 MPa \quad (9)$$

Se realiza los diagramas de cuerpo libre, como se indica en las Figuras 18,18,20:

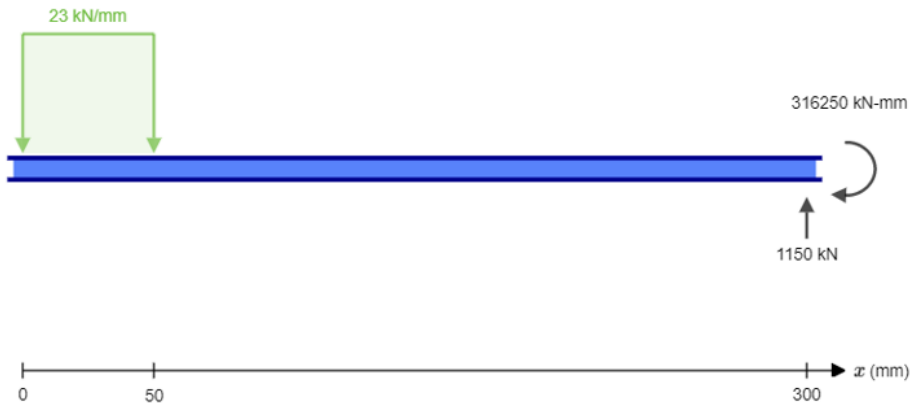


Figura 19. Diagrama del cuerpo libre del eje del motor [38]

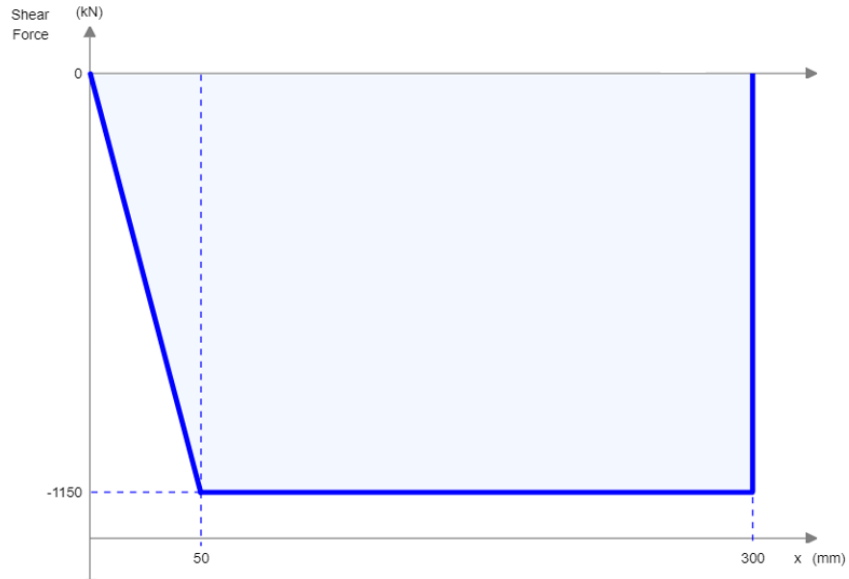


Figura 20. Diagrama de fuerza de corte del eje del motor [38]

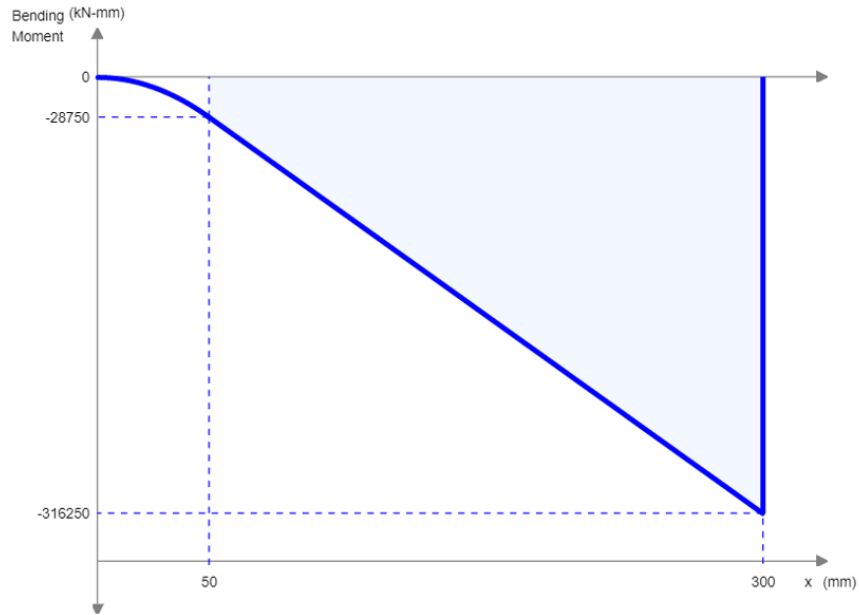


Figura 21. Diagrama de momento de flexión del eje del motor [38]

Se obtiene un peso 1150 N con longitud de la manzana 50 mm, con carga distribuida de

$$W_1 = \frac{1150 \text{ N}}{50 \text{ mm}} = 23 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Con la teoría de Von-Mises para materiales dúctiles:

$$\delta_x = \frac{32 \text{ M}}{\pi \phi^3} = \frac{32 (372350)}{\pi (31,75)^3} = 118,50 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$\delta_y = 0 ; \delta_x = 1$$

$$\tau_{xy} = 0$$

Comprobando que el peso de carga que se obtuvo en el diseño es menor que el valor máximo de carga.

$$\delta_x \leq \delta_{perm}$$

Factor de seguridad del eje en el diseño:

$$\eta = \frac{S_y}{\delta_x} = \frac{351 \text{ MPa}}{118,50 \text{ MPa}} = 2,96 \quad (11)$$

3.4 Eje de motor

En la Figura 22 se detalla el eje, que es sometido a la masa del grano de café, con masa de 49,9 kg, masa de tambor 44,83 kg con factor de seguridad $\eta = 2,5$, con un peso total del tambor de 1150 N en un extremo.



Figura 22. Diagrama del cuerpo libre del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa %
Fabricio Varela

En las Figuras 23 y 24 se realiza los diagramas de cuerpo libre:

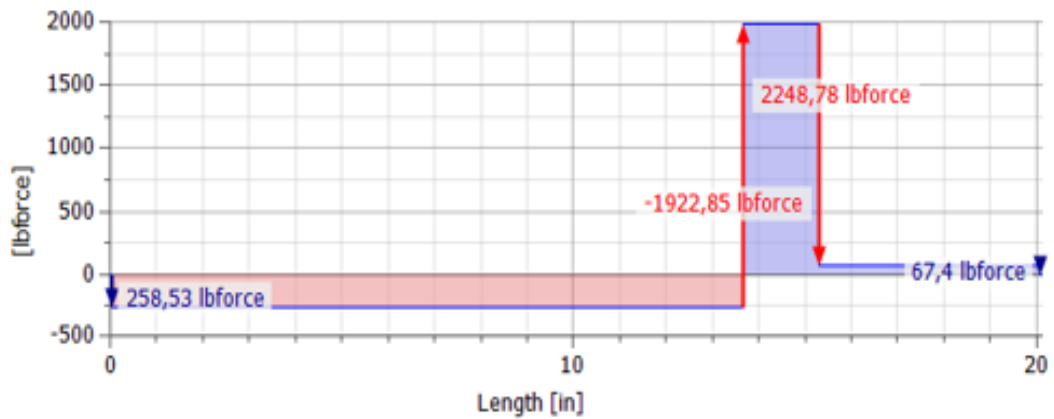


Figura 23. Diagrama de fuerza de corte del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa %
Fabricio Varela

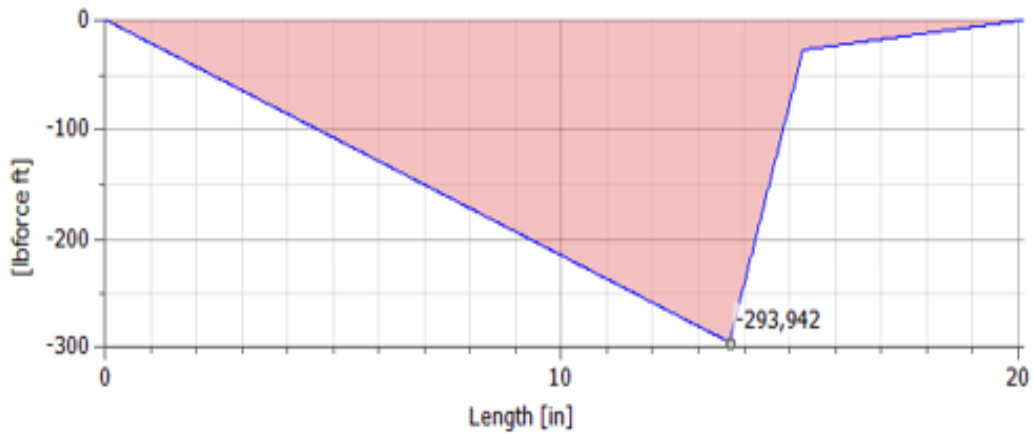


Figura 24. Diagrama de momento de flexión del eje de soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa %
Fabricio Varela

Punto 385,5 mm desde el extremo izquierdo, se realizó los diagramas de cuerpo libre obteniendo un cortante máximo “ V_{max} ” 1150 N y momento máximo “ M_{max} ” 398,8 N.

$$-293.94 \frac{lb_f}{ft} = \frac{4,45 N}{1 lb_f} * \frac{1 m}{3,28 ft} = 398,8 N.m$$

Cálculos método por flexión:

$$M_{max} = 398,8 Nm$$

$$\delta_x = \frac{32 M}{\pi \phi^3} = \frac{398,8 Nm (1000) mm/m}{\pi (31,75)^3 mm^3} = 126,92 \frac{N}{mm^2} \quad (12)$$

$$\delta_y = 0 ; \tau_{xy} = \frac{T (16)}{\pi \phi^3} \quad (13)$$

Calculando el esfuerzo a torsión “ τ_{xy} ”

$$\tau_{xy} = \frac{130 Nm (16)(1000) mm/m}{\pi (31,75)^3 mm^3} = 20,69 \frac{N}{mm^2}$$

Según la teoría de la energía de la máxima distorsión [35]

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + 3(\tau_{xy})^2} = 131,88 \text{ MPa} \quad (14)$$

$$\delta_{perm} = \frac{S_y}{\eta} = \frac{351 \text{ MPa}}{2} = 175 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$\delta \leq \delta_{perm}$$

Cálculos método por esfuerzo cortante máximo

$$F_v = 0,4 S_y = 170,4 \text{ N/mm}^2 \quad (16)$$

Ecuación del esfuerzo “ f_v ”, donde “ V ” es la carga cortante y “ A_{ex} ” es el área de la sección transversal

$$f_v = V/A_{ex} \quad (17)$$

Remplazando valores:

$$f_v = \frac{1150 \text{ N}}{\pi \frac{(31,75)^2}{4}} = 1,45 \text{ N/mm}^2$$

Comprobando que el esfuerzo cortante aplicado es menor al límite cortante máximo del material.

$$f_v \leq F_v$$

Factor de seguridad mínimo obtenido del diseño:

$$\eta = \frac{F_y}{\delta} \quad (18)$$

$$\eta = \frac{351 \text{ MPa}}{131,88 \text{ MPa}} = 2,66$$

3.5 Bastidor

En la Figura 25 se realiza un modelado del soporte, se utiliza un perfil de calibre 4 de espesor 5.6946 mm.

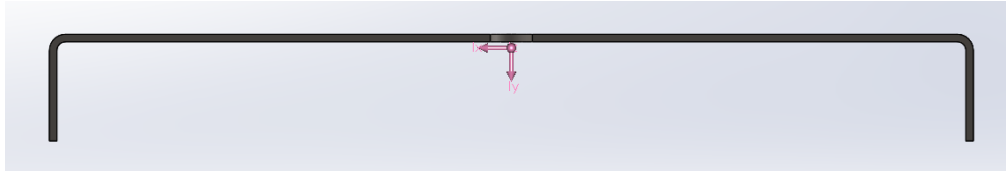


Figura 25. Modelado del soporte. Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

En las Ilustraciones 2 y 3 se obtiene los datos en el simulador de SolidWorks:

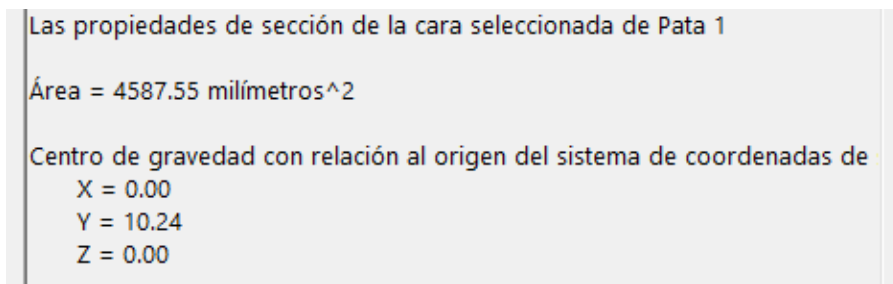


Ilustración 2. Propiedades y centros de gravedad del soporte

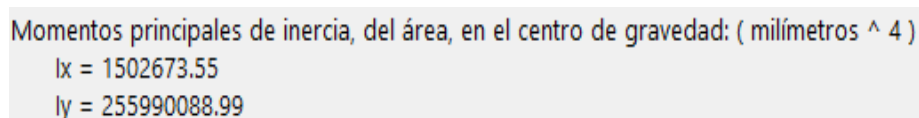


Ilustración 3. Momentos de inercia del soporte

$$A = 4587,55 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1502673,55 \text{ mm}^4$$

Longitud del perfil:

$$L = 1102 \text{ mm}$$

Ecuación del radio mínimo:

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1502673,55 \text{ mm}^4}{4587,55 \text{ mm}^2}} = 18,10 \text{ mm} \quad (19)$$

Ecuación de la esbeltez:

$$\lambda = \frac{K L}{r_{min}} = \frac{1,2 (1102)}{18,10} = 73,07 \rightarrow F_a = 16,12 \text{ ksi} = 111,14 \text{ Mpa} \quad (20)$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{1934 \text{ N}}{45,87 \text{ mm}^2} = 421,62 \text{ KPa} \quad (21)$$

$$f_a \leq F_a$$

3.5.1 Sección superior del soporte

En la Figura 26 se realiza un modelado de la sección, se utiliza un perfil de calibre 4 de espesor 5.6946 mm.

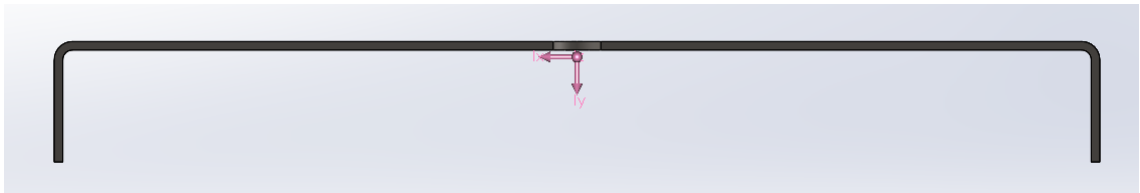


Figura 26. Modelado de la Sección superior del soporte Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

En las Ilustraciones 4 y 5 se obtiene datos en el simulador de SolidWorks:

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de Pata 1

Área = 4587.55 milímetros²

Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de

X = 0.00

Y = 10.24

Z = 0.00

Ilustración 4. Propiedades y centros de gravedad de la sección superior del soporte

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ⁴)

I_x = 1502673.55

I_y = 255990088.99

Ilustración 5. Momentos de inercia de la sección superior del soporte

$$A = 4587,55 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1502673,55 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 255990098,99 \text{ mm}^4$$

Se utiliza constante de tipo de apoyo “k” [39].

$$k = 1,2$$

Con una longitud de 588,92 mm, se utiliza la ecuación del radio mínimo:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1502673,55 \text{ mm}^4}{4587,55 \text{ mm}^2}} = 18,10 \text{ mm} \quad (22)$$

Ecuación de la esbeltez:

$$\lambda = \frac{K L}{r_{min}} = \frac{1,2 (588,92)}{18,10} = 39,0 \rightarrow Fa = 19,27 \text{ ksi} = 132,86 \text{ MPa} \quad (23)$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{1934 \text{ N}}{45,87 \text{ mm}^2} = 421,62 \text{ KPa} \quad (24)$$

$$f_a \leq F_a$$

3.5.2 Sección inferior del soporte

En la Figura 27, se realiza un modelado de la sección, se utiliza un perfil de calibre 4 de espesor 5.6946 mm.

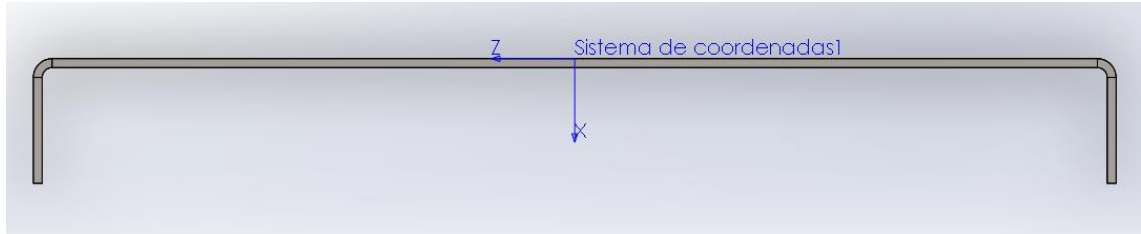


Figura 27. Modelado de la sección inferior del soporte Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Datos obtenidos en el simulador de SolidWorks, Ilustraciones 6 y 7:

```
Las propiedades de sección de la cara seleccionada de pata 3
Área = 4768.36 milímetros^2
Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: ( milímetros )
  X = 9.96
  Y = 0.00
  Z = 0.00
```

Ilustración 6. Propiedades y centros de gravedad de la sección inferior del soporte

```
Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: ( milímetros ^ 4 )
  Ix = 1512680.57
  Iy = 256005277.64
```

Ilustración 7. Momentos de inercia de la sección inferior del soporte

$$L = 700$$

$$A = 4768,36 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1512680,57 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 256005277,64 \text{ mm}^4$$

Se utiliza constante de tipo de apoyo “k” [39].

$$k = 0.65$$

Con una longitud de 700 mm, se utiliza la ecuación del radio mínimo:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1512680,57 \text{ mm}^4}{4768,36 \text{ mm}^2}} = 17,81 \text{ mm} \quad (25)$$

Ecuación de la esbeltez:

$$\lambda = \frac{K L}{r_{min}} = \frac{0,65 (700)}{17,87} = 25,54 \rightarrow Fa = 20,25 \text{ ksi} = 139,59 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{1934 \text{ N}}{4768,36 \text{ mm}^2} = 405.59 \text{ KPa} \quad (27)$$

$$f_a \leq F_a$$

3.5.3 Pernos regulables

En modelado de los pernos (Figura 28), se utiliza pernos de tamaño M12 perno de clase 4,8 medio carbono.

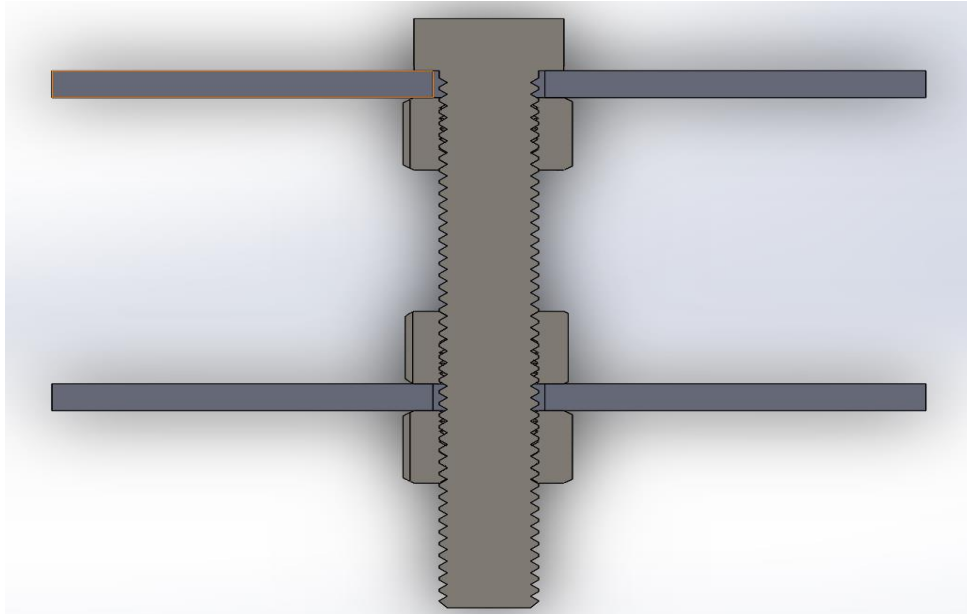


Figura 28. Modelado de los pernos regulables

Datos obtenidos de catálogo del perno tamaño M12 perno de clase 4,8 [39].

$$S_m = 310 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 420 \text{ MPa}$$

$$S_y = 340 \text{ MPa}$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$A_2 = 84,3 \text{ mm}^2$$

Cálculo del área mínima del tornillo donde “ f_t ” es el esfuerzo real a tensión, “ F_t ” límite elástico a tensión, “ A_n ” área de la rosca y “ P ” esfuerzo.

$$f_t \leq F_t$$

$$f_t = \frac{P}{A_n} \quad (28)$$

$$A_n = \frac{P}{f_t}$$

$$A_n = \frac{967 \text{ N}}{310 \text{ N/mm}^2}$$

$$A_n = 3,11 \text{ mm}^2$$

Para la esbeltez para el perno M12 clase 4,8, se obtiene:

$$r_{min} = \frac{d}{4} = \frac{12}{4} = 3 \text{ mm} \quad (29)$$

$$\lambda = \frac{K.L}{r_{min}} = \frac{0,65 (100) \text{ mm}}{3 \text{ mm}}$$

$$\lambda = 21,66 \leq 200 \rightarrow F_a = 20.50 \text{ ksi}$$

$$F_a = 20.5 * 10^3 \text{ psi} \frac{6.894 * 10^3 \text{ Pa}}{1 \text{ psi}} = 141.3 \text{ MPa}$$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{967 \text{ N}}{84,3 \text{ mm}^2} = 11.47 \text{ MPa}$$

$$f_a \leq F_a$$

3.6 Conjunto tambor:

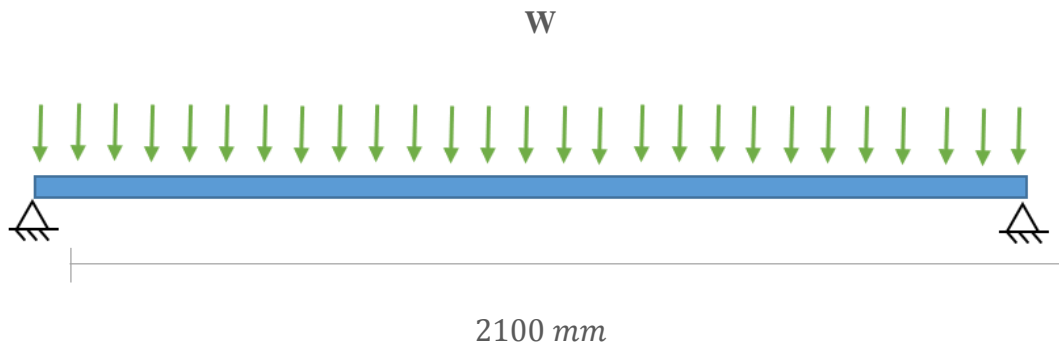


Figura 29. Representación como viga del conjunto tambor

Datos obtenidos:

$$P = 944,99 \text{ N}$$

$$l = 2100 \text{ mm}$$

Carga distribuida obtenida:

$$W = 0,45 \text{ N/mm}$$

Cálculo para la sección máxima disponible:

$$M_{max} = \frac{W l^2}{8} = \frac{0,45 \text{ N/mm} (2100)^2 \text{ mm}}{8} = 248062,5 \text{ N.m} \quad (30)$$

$$S_x = \frac{I_x}{C} = \frac{97,9 * 10^6 \text{ mm}^4}{318 \text{ mm}} = 307861 \text{ mm}^3 \quad (31)$$

$$F_y = 230 \text{ MPa}$$

$$F_b = 0,6 (230) \text{ MPa}$$

$$F_b = 138 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{M C}{I} = \frac{M}{S_x} \quad (32)$$

$$S_x \geq \frac{M_x}{f_b}$$

$$S_x \geq \frac{248062,5 \text{ N/mm}}{138 \text{ N/mm}^2}$$

$$S_x \geq 1797 \text{ mm}^3$$

3.7 Simulaciones

Las siguientes simulaciones fueron desarrolladas en el software SOLIDWOKS™ Simulation, de las partes críticas de la tamizadora, es decir de los ejes y de los bastidores. Se realizaron capturas de pantalla de los resultados del análisis estático, de tipo factor de seguridad y de tensión nodal.

El resultado de factor de seguridad se realizó de acuerdo con el criterio Von Mises, ya que es el criterio que puede desarrollar el software para materiales dúctiles como el acero del que están compuestas las partes.

3.7.1 Simulación 1- Eje de soporte

El eje de soporte estará conectado en un extremo a la manzana del tambor giratorio, y en su otro extremo al rodamiento. Por lo tanto, tendrá dos secciones, la primera con un

diámetro de 1.5 pulgadas y la segunda de 1.25 pulgadas. El largo del eje es de 345 milímetros y esta simulado con acero AISI 1020.

Los resultados del de factor de seguridad se muestran en la Figura 30, donde se verifica que el factor de seguridad mínimo es de 3, muy cercano al factor de seguridad 2,7 calculado en el dimensionamiento.

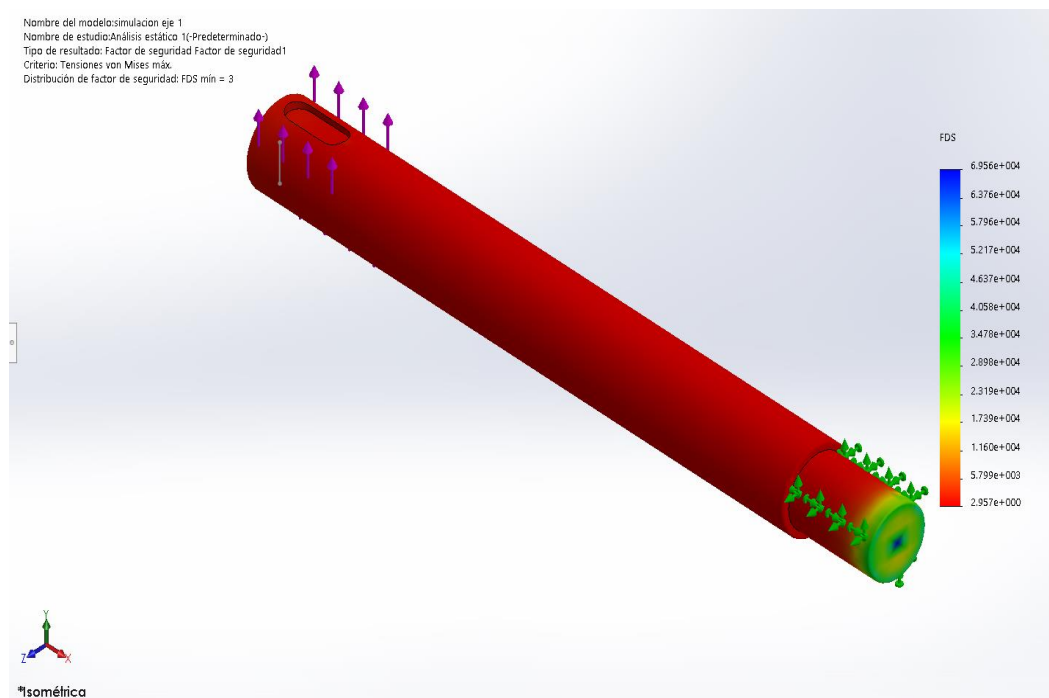


Figura 30. Factor de seguridad del eje de soporte

El resultado de tensiones (Figura 31), muestra que la tensión máxima a la que el eje es sometido es de 118,9 MPa, muy por debajo del límite elástico del acero AISI 1020 de 351 MPa, esto adicional al factor de seguridad anterior señala que el eje de soporte no sufrirá fallos estáticos, se podría disminuir las medidas del eje, lo que requeriría un redimensionamiento completo de la tamizadora, por lo que, para la aplicación actual se recomienda los diámetros indicados.

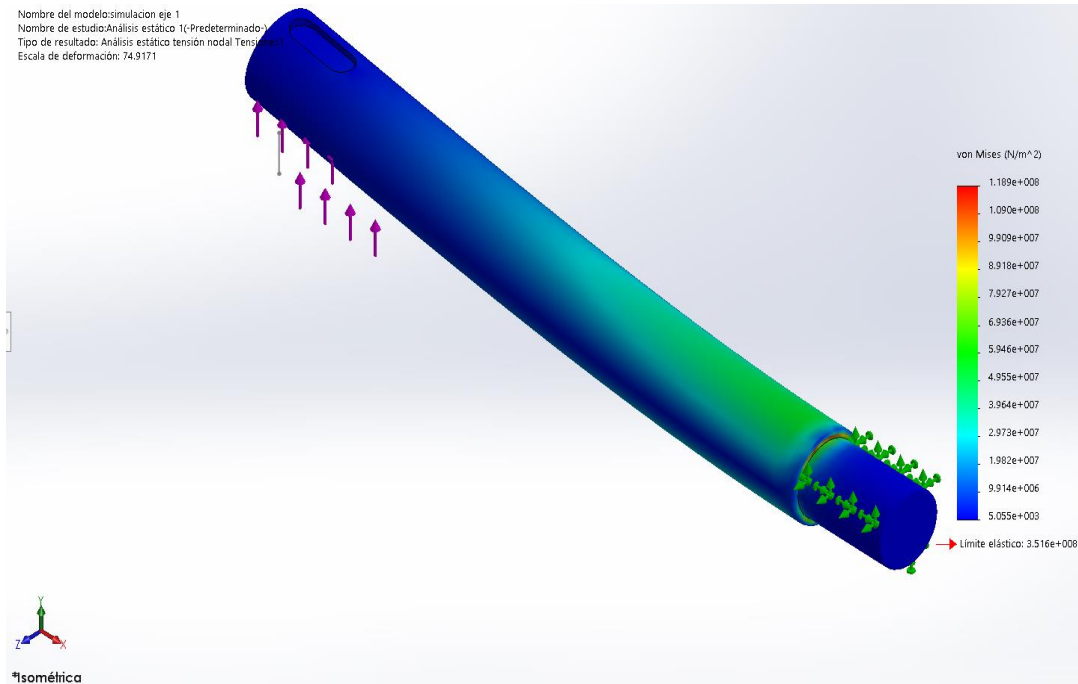


Figura 31. Tensiones en el eje de soporte

3.7.2 Simulación 2- Eje motor

Similar al eje de soporte, este eje estará conectado en un extremo a la manzana del tambor giratorio, en su otro extremo al motor y en la sección media al rodamiento. Por lo tanto, tendrá tres secciones, la primera con un diámetro de 30 milímetros, ésta es la medida del acople a la caja de velocidades del motor seleccionado, la segunda de 1.25 pulgadas para colocar el eje a través del rodamiento y finalmente un diámetro de 1.5 pulgadas para su acople al otro extremo del tambor giratorio de la tamizadora. El largo del eje es de 512 milímetros y esta simulado con acero AISI 1020.

El cálculo del factor de seguridad se muestra en la Figura 32, se verifica que el factor de seguridad mínimo es de 3.

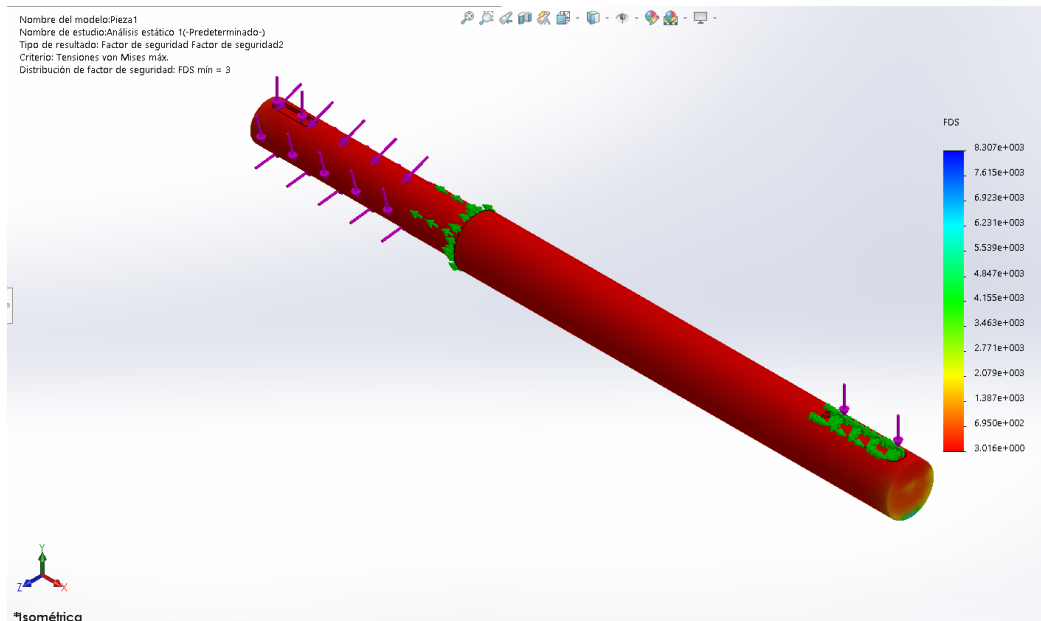


Figura 32. Factor de seguridad del eje motor.

El resultado de tensiones (Figura 33), muestra que la tensión máxima a la que el eje es sometido es de 116,6 MPa, muy por debajo del límite elástico del acero AISI 1020 de 351 MPa, esto adicional al factor de seguridad anterior señala que el eje de soporte no sufrirá fallos estáticos, se podría disminuir las medidas del eje, lo que requeriría un redimensionamiento completo de la tamizadora, por lo que, para la aplicación actual se recomienda los diámetros indicados.

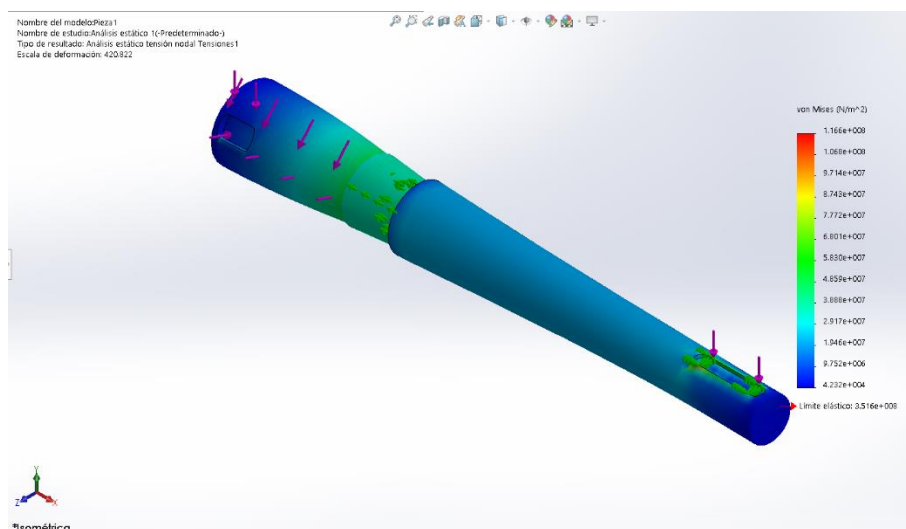


Figura 33. Tensiones en el eje de motor

3.7.3 Simulación 3- Bastidor 1

Los bastidores se dimensionaron como columnas, el peso simulado de la tamizadora, con la carga de operación más un rango de seguridad, es de 3868 Newtons, repartidos en los dos bastidores en cada extremo, la carga en cada uno es de 1934 Newtons. Cada bastidor está diseñado como una plancha de acero A36 con un espesor de 6 milímetros con cuatro dobleces de 80 milímetros, soldada en sus aristas.

Para el primer bastidor, que tiene una longitud de 1448 milímetros, el resultado de la simulación de factor de seguridad se muestra en la Figura 34, dando como resultado mínimo 70.

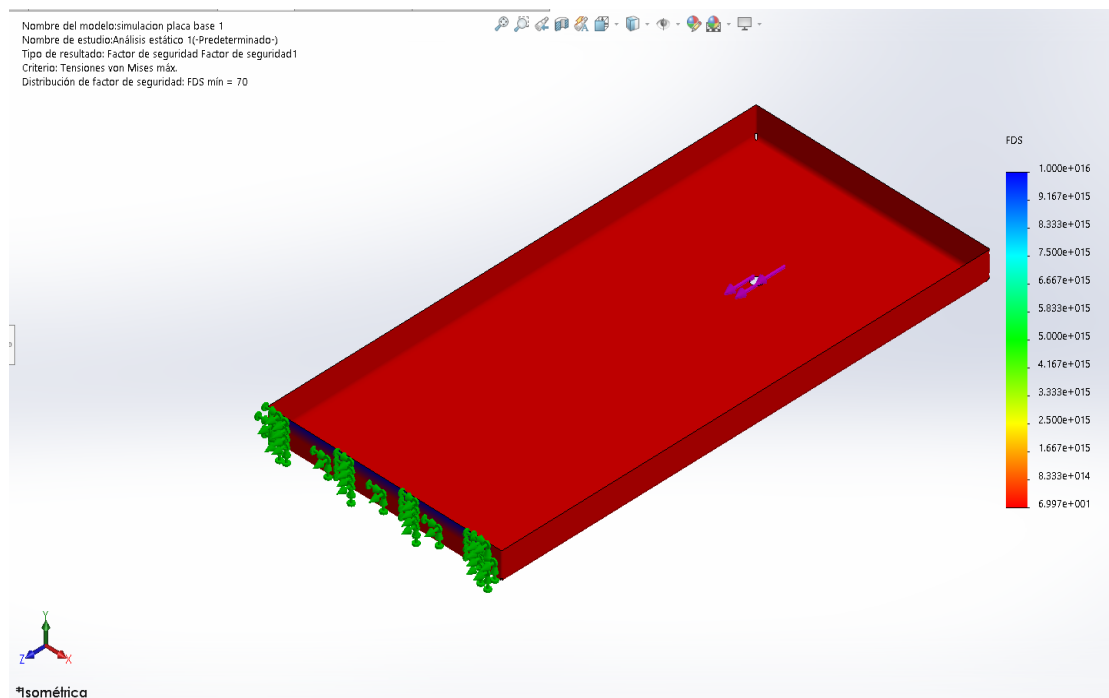


Figura 34. Factor de seguridad del bastidor 1

Los resultados de tensiones (Figura 35), muestra que la tensión máxima alcanza 3,564 MPa, cerca del 3.2% del límite por esbletez calculado en el dimensionamiento.

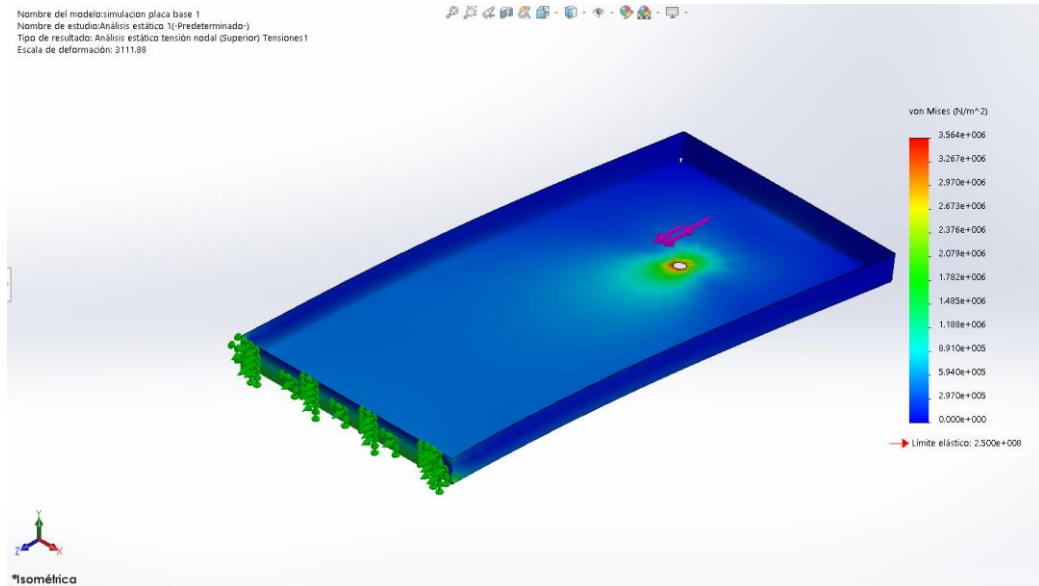


Figura 35. Análisis de tensiones en el bastidor 1

3.7.4 Simulación 4- Bastidor 2 - Sección superior

Para la sección superior del segundo bastidor, que tiene una longitud de 935.6 milímetros, el resultado de la simulación de factor de seguridad se muestra en la Figura 36, dando como resultado mínimo 1,6.

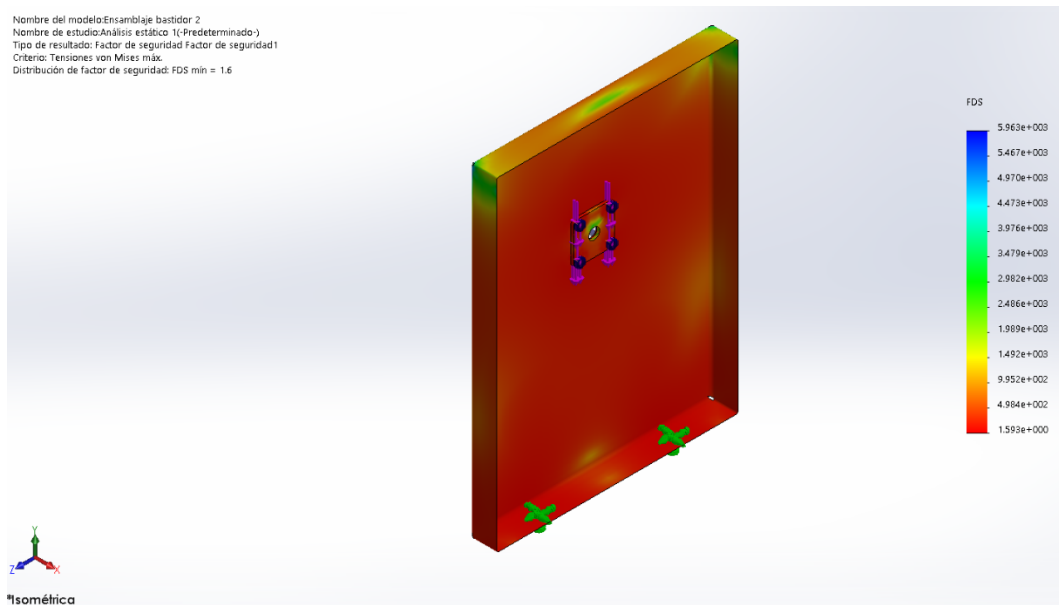


Figura 36. Factor de seguridad de la sección superior del bastidor 2

Los resultados de tensiones (Figura 37), muestra que la tensión máxima alcanza 154,6 MPa, solo en las perforaciones en su parte inferior, en donde se localizarían los tornillos de regulación de inclinación, debido al momento generado por la separación entre la ubicación de la carga y del soporte, por lo que se recomienda utilizar platinas perforadas como refuerzo si se desea un factor de seguridad mayor al 1,6 aquí obtenido, para esta sección del bastidor.

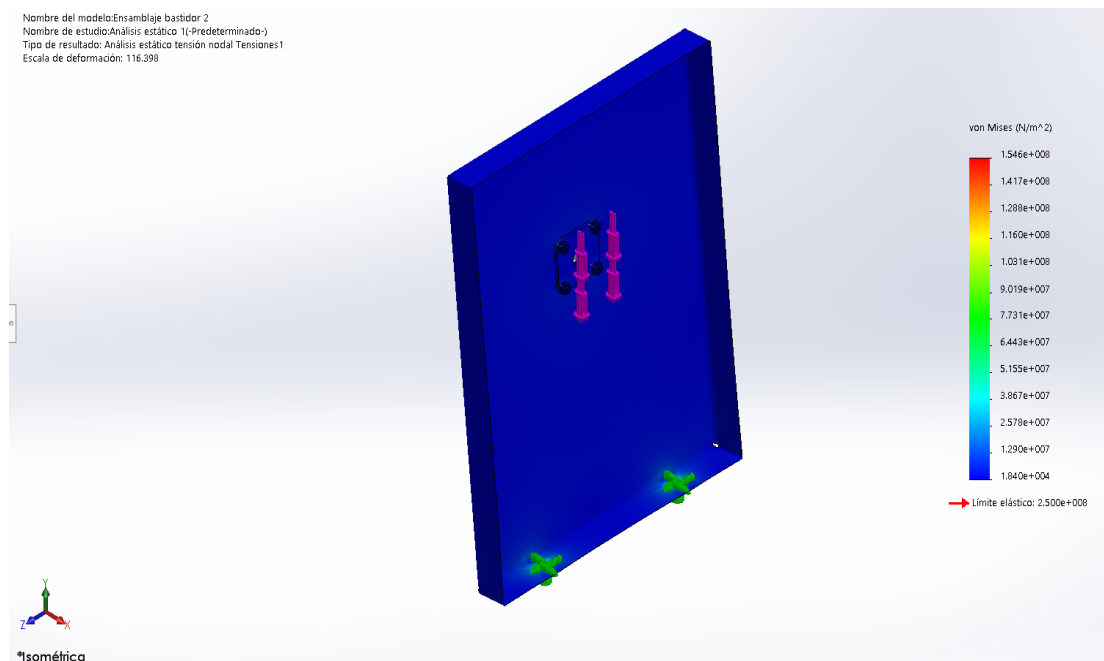


Figura 37. Análisis de tensiones de la sección superior del bastidor 2

3.7.5 Simulación 5- Bastidor 2 - Sección inferior

La sección inferior del bastidor 2 también se simuló como una plancha de acero A36 de 1,5 milímetros de espesor, con dobleces de 80 milímetros en sus cuatro aristas y soldada en sus uniones. La carga de 1934 se concentraría en las dos perforaciones en su parte superior y este bastidor se dimensionó como una columna de 700 milímetros de altura.

El resultado de factor de seguridad nos arrojó un resultado de 3,5 como mínimo lo que muestra una alta eficacia en su configuración actual, tal y como muestra la Figura 38.

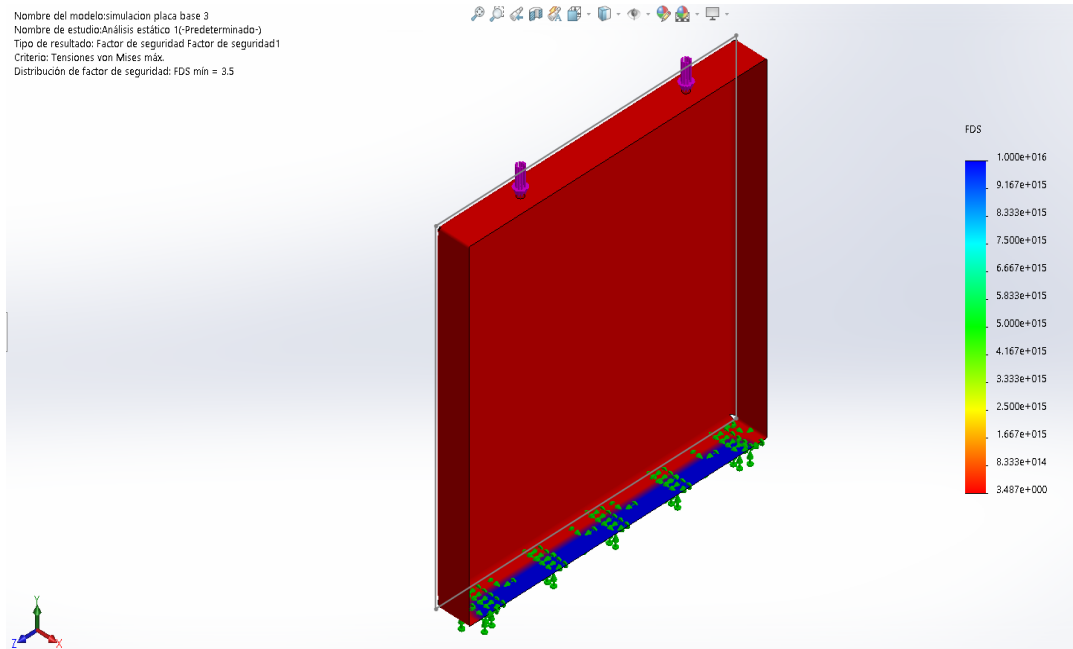


Figura 38. Factor de seguridad de la sección inferior del bastidor 2

El resultado del análisis de tensión nodal de la simulación nos arroja un máximo de 71,70 MPa, lo que lo coloca a un 29% del límite de tensión del acero A36, tal como se muestra en la Figura 39.

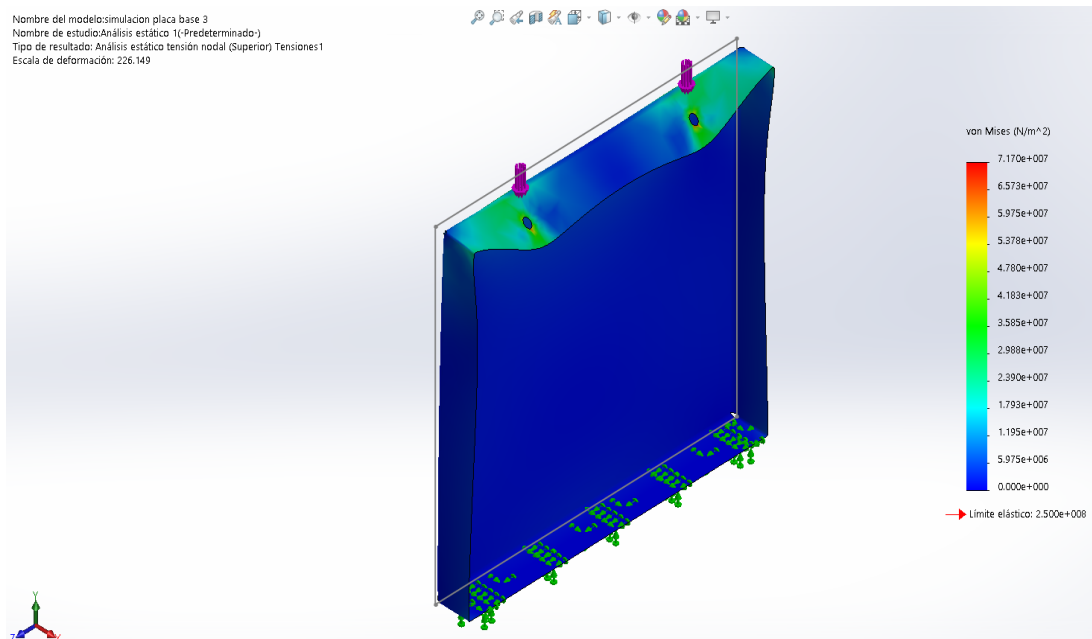


Figura 39. Análisis de tensiones de la sección inferior del bastidor 2

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez determinado el diseño y simulación de la tamizadora de café, dando prioridad a la repotenciación de la producción de café para la Asociación de Río Intag, se procede a definir ciertas variables que nos permita realizar un análisis económico que a la vez permita demostrar la rentabilidad del diseño propuesto para la tamizadora de tambor rotatorio de café, entre las variables se tiene la inversión inicial, los beneficios propios del proyecto y los costos en los que se implicará a lo largo de la vida útil de la máquina tamizadora.

4.1.1 Materiales

De acuerdo con los materiales a utilizar, el costo de materia prima de las planchas de acero galvanizadas, inoxidable, ASTM A36, barras de acero, ángulos y platinas, se tiene el siguiente valor de inversión inicial con los costos actuales que se encuentra en el mercado nacional. En la Tabla 15 se detalla a continuación.

Tabla 15. Lista detallada de materiales y costos a utilizar en la construcción

Materiales	Características	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Planchas acero inoxidable perforadas	2m x 1m, e = 1.5 mm	6	50,00	300,00
Planchas acero galvanizado	1.44m x 2.44m, e = 1.5mm	4	129.29	517.16
Planchas de acero A36	1.44m x 2.44m, e = 1.5mm	1	134.40	134.40
Barras de acero AISC 1018	Ø 1 ¾ plg. l = 1000mm	1	8,75	8,75
Ángulos de aceros negros ASTM A36	40mm x 40mm, e = 6mm, l = 6000mm		31.36	31.36
Platinas de acero laminado negro	20mm x 20 mm, e = 6mm, l = 6000mm	2	17.92	35,84
			Total:	1027,51

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.1.2 Insumos (consumibles)

Para el diseño de la tamizadora de café se ha tomado en cuenta una variedad de pernos y tuercas de cabeza hexagonal de diferentes materiales y dimensiones, a continuación, se detalla en las siguientes Tablas 16 y 17.

- Pernos cabeza hexagonal:

Tabla 16. Lista detallada y costos de pernos a utilizar para la construcción

Material	Características	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Acero inoxidable	M6x1.0x20	36	0,30	10,80
Acero aleado	M8x1.25x40	8	0,95	7,60
Acero galvanizado	M10 x 1,5, <i>l = 26 mm</i>	32	0,40	12,80
Acero aleado	M14 x 2,0, <i>l = 55 mm</i>	8	1,22	9,76
Acero aleado	M12 x 1,75 <i>l = 100 mm</i>	2	3,00	6,00
			Total:	50,76

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

- Tuercas cabeza hexagonal:

Tabla 17. Lista detallada y costos de tuercas a utilizar para la construcción

Material	Características	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Acero inoxidable	M6 x 1	36	0,10	3,60
Acero aleado	M8 <i>l = 16 mm</i>	12	0,31	3,72
Acero galvanizado	M10 x 1,5	32	0,13	4,16
Acero aleado	M14 x 2,0	8	0,95	7,60
Acero aleado	M12 x 1,75	2	0,73	1,46
			Total:	20,54

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.1.3 Costos de fabricación

Para el diseño de la tamizadora se han tomado en cuenta diferentes sistematizaciones, para una construcción de la máquina, detallamos a continuación varias operaciones que se debe realizar para el momento de construcción de la tamizadora.

Los costos señalados a continuación se obtuvieron en abril de 2019, cortesía de Christian Jaramillo, gerente de los talleres JR, ubicados la calle Juan de la Merced en Carcelén, Quito. En las Tablas 18 a la 24 se detallan las listas de diferentes costos de fabricación del diseño.

a. Corte de planchas

Tabla 18. Lista detallada de cortes de planchas para la fabricación

Material para cortar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Corte de planchas de acero inoxidable	6	0,20	1,20
Corte de planchas de acero galvanizado	72	0,20	14,40
Corte de perfiles de acero aleado	6	0,20	1,20
Corte de planchas de acero A36	24	0,20	4,80
Total:			21,60

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

b. Barolado

Tabla 19. Costos de barolados para la fabricación

Material para barolar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Fabricación de tambores internos y externos	12	15,84	190,08
Fabricación de estructura interna del tambor externo	6	15,84	95,04
Fabricación de las tolvas de salida	5	15,84	79,20
Total:			364,32

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

c. Torneado

Tabla 20. Costos de torneado para la fabricación

Elemento para construir	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Fabricación de eje del motor	1	5,00	5,00
Fabricación de eje de soporte	1	5,00	5,00
Fabricación de las manzanas del tambor	2	5,00	10,00
Total:			20,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

d. Perforado

Tabla 21. Costos de perforado para la fabricación.

Elemento para perforar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Tamizadora de café	100 (aprox.)	0.05	5,00
Total:			5,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

e. Doblado

Tabla 22. Costos de doblado para la fabricación

Elemento para doblar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Doblado de perfiles del bastidor	12	1,25	15,00
Total:			15,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

f. Soldadura

Tabla 23. Costos de soldadura para la fabricación

Elemento para soldar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Soldadura de anillos en cada sección del tambor interno	12	1,00	12,00
Soldadura de tolva de entrada	12	1,00	12,00
Soldadura de tolvas de salida	36	1,00	36,00
Soldadura de tolvas intercambiables de salida	4	1,00	4,00
Total:			64,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

g. Esmerilado

Tabla 24. Costos de esmerilado para la fabricación.

Elemento para esmerilar	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Acabados para las soldaduras y extremos cortantes	36 (aprox.)	0,25	9,00
Total:			9,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

h. Elementos mecánicos

En el diseño de la tamizadora de café se toman en cuenta elementos, que comparten en la estructura del diseño de la tamizadora y cumplen con la tarea de realizar el funcionamiento de la máquina, en el siguiente cuadro detallamos los elementos a utilizar en la máquina diseñada. En la Tabla 25 se detalla los elementos a utilizar en el diseño.

Tabla 25. Lista detallada con costos de elementos mecánica a utilizar en la máquina tamizadora

Elemento	Marca	Característica	Cantidad	Costo unidad	Costo total
Motorreductor	NORD	Descripción: SK 1282-90 SH/4,1.1 KW, 83 RPM	1	667,50	667,50
Chumacera	SKF	Descripción: FY 1.1/4 TF	2	48,00	96,00
Sujeciones	HALDER	Capacidad de retención: 160 kg	6	2,25	13,50
Bisagras reforzadas con tornillos	PHILLIPS	Cuadradas de alta resistencia. Descripción: SERIE 800 E	6	3,50	21,00
Manijas para puertas	Iron Valley	Manijas cuadradas	3	3,75	11,25
Variador de frecuencia de 1 HP	XinShuangYuan Co., LTD	Potencia 1,5 KW, corriente máxima de salida 8 A, modelo: AT1-1500X	1	80,00	80,00
Sellos de goma de la puerta con cinta adhesiva	EPDM	Espuma EPDM tira de sellado 10 metros	1	5,00	5,00
Kit eléctrico				250,00	250,00
				Total:	1144,25

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.1.4 Costos directos

Los costos directos se asocian directamente con un producto terminado o con su elaboración, en este caso en la construcción de la máquina tamizadora, en la Tabla 26 se detalle los gastos directos.

Tabla 26. Cuadro de costos directos

Gastos Directos	Costo
Materiales	1027,51
Insumos (consumibles)	71,30
Costos de fabricación	498,92
Elementos mecánicos	1144,25
Montaje de la máquina	160,00
Total:	2901,98

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.1.5 Costos indirectos

El costo indirecto es parte del sumario productivo, sin embargo, no se incorpora concretamente al producto finalizado, en la siguiente Tabla 27 se detalla los gastos indirectos.

Tabla 27. Cuadro de costos indirectos

Gastos Indirectos	Costos (estimados)
Costos de diseño y simulación	500,00
Alimentación y estadía en Intag – Imbabura	60,00
Movilización	70,00
Costos de materiales de impresiones	50,00
Total:	680,00

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.1.6 Costo Total

En la siguiente Tabla 28, se menciona el costo total de la máquina tamizadora de café de tambor rotativo, tomando en cuenta los gastos de diseño, alimentación, movilización, estadía y materiales de suministro de papel.

Tabla 28. Cuadro de costos totales

Gastos	Costos
Gastos Directos	2901,98
Gastos Indirectos	680,00
Total	3581,98

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

4.2 Payback period

De acuerdo con anotaciones de clases: “El Payback period” es el tiempo requerido para recuperar el costo de la inversión, y es importante para decidir la factibilidad del proyecto.”. Se define mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Ingreso Generado}} \quad (33)$$

4.2.1 Costo de la inversión

En la sección anterior, se llegó a la conclusión que el costo total de la inversión es de 3581,98 dólares estadounidenses, incluyendo los datos obtenidos de costos directos e indirectos de la fabricación.

4.2.3 Ingreso Generado

El ingreso generado por la maquinaria se considera al ahorro que generaría en mano de obra, productividad, calidad, energía y mantenimiento. En el caso de esta tamizadora los ahorros se generarían sobre todo en el área de producción, tal y como se indicó en el capítulo 2. Al disminuir el tiempo en la tamización y al mejorar su eficacia en la clasificación aumentará la calidad para los procesos siguientes en la planta. Esto debe limitarse por la cantidad máxima de café que los productores pueden entregar al mes a la planta de procesado Río Intag, lo cual llegará en promedio a 25 sacos de 50 kilogramos a la semana y solo se clasifica el producto dos días a la semana.

$$25 \frac{\text{sacos}}{\text{semana}} \times 4 \frac{\text{semanas}}{\text{mes}} \times 50 \frac{\text{kg}}{\text{saco}} = 5000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

Considerando que el costo del grano en bodega alcanza los 30 dólares estadounidenses por un saco de 50 kilogramo en promedio, es decir unos 60 centavos por kilogramo, y el producto final alcanza como mínimo 15 dólares por kilogramo, resulta en que el proceso dentro de la planta añade 14,4 dólares por kilogramo procesado.

$$5000 \frac{kg}{mes} \times 14,4 \frac{USD}{kg} = 72000 \frac{dólares}{mes}$$

El proceso de tamizado aporta un 10% al valor del café, y la primera clasificación realiza un 10% del trabajo de clasificación el total del valor de esta clasificación alcanza:

$$72000 \frac{dólares}{mes} \times 10\% \times 10\% = 720,00 \frac{dólares}{mes}$$

Si se estima que el diseño de la nueva tamizadora de tambor giratorio podría aumentar un 50% el ritmo de clasificación del grano, el ingreso generado por producción alcanza los 720,00 dólares al mes.

El costo de mantenimiento será muy bajo, debido a que las partes que están en movimiento, las cuales son los rodamientos y el motor, requieren mantenimiento cada 600 horas de funcionamiento, lo cual se alcanzaría a los tres meses si se trabajan 8 horas diarias cinco días a la semana. Su costo total en mantenimiento al mes no superaría los 25 dólares.

Por parte del costo de la energía sería un balance entre la potencia del motor de la tamizadora instalada actualmente y el motor escogido en esta ocasión. El motor instalado en la tamizadora original es de 0,75 KW, y el nuevo motor sería uno de 1,1KW, lo que generaría un costo si es que se considera que la tamizadora estaría activa el mismo periodo de tiempo que la anterior. El costo de KWh para el sector

industrial en la fecha de la elaboración de este trabajo alcanza los 9,33 centavos de dólar estadounidenses.

$$(1,1 \text{ KW} - 0,75 \text{ KW}) \times 0,0933 \frac{\text{USD}}{\text{KW} \times \text{h}} \times 64 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 2,09 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

En mano de obra no habría cambios, ya que al igual que la anterior solo requeriría que un solo operario encienda y supervise el trabajo de esta. En la Tabla 29 se detalla.

Tabla 29. Ingreso generado por la nueva tamizadora en un mes.

Componente	Costo
Producción	720,00
Mantenimiento	-25,00
Energía eléctrica	-2,09
Mano de obra	390,00
Total	302,91

Elaborado por: Abraham Espinosa & Fabricio Varela

Por lo tanto, el período de recuperación alcanza:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Ingreso Generado}} = \frac{3581,98}{302,91} = 11,82 \cong 12 \text{ meses}$$

4.3 El valor actual neto (VAN)

Para la asociación agroartesanal de caficultores Río Intag “AACRI” requiere una inversión inicial de \$ 3581,98 que genera un flujo de efectivo de \$ 3634,92 el primer año, con un incremento del 5% los dos siguientes años, se tiene los valores de \$ 3816,66 y \$ 4007,49 respectivamente, con la tasa de interés del 12%, se comprueba que la inversión amerita hacerlo.

Si a los flujos de caja anuales los llamamos Q , a la tasa de descuento k y al desembolso inicial A :

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)^1} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (34)$$

Siendo:

$Q_1, Q_2, Q_3 : \$ 3634,92, \$ 3816,66 \$ 4007,49$

$k = 12 \%$

$A = \$ 3581,98$

$$VAN = -3581,98 + \frac{3634,92}{(1 + 0,12)^1} + \frac{3816,66}{(1 + 0,12)^2} + \frac{4007,49}{(1 + 0,12)^3}$$

$$VAN = -3581,98 + 3245,46 + 3042,61 + 2852,45$$

$$VAN = 5559,52$$

Teniendo en cuenta que es una forma de valoración personal y se usa cumplidamente en las finanzas y contabilidad, como conclusión del VAN, si es mayor a 0, la inversión es rentable, si es igual o 0, la inversión es rentable, pero con las ganancias mínimas, y si el VAN es menor a 0, el proyecto no es nada rentable. Con un valor 5559,52 mayor a 0 el proyecto es rentable para la asociación de caficultores Río Intag.

4.4 Tasa interna de retorno (TIR)

De acuerdo con [38]:

“TIR es la tasa de descuento (TD) de un proyecto de inversión que permite que el BNA (beneficio neto proyectado) sea igual a la inversión (VAN igual a 0). La TIR es la máxima TD que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que 0). Entonces para hallar la TIR se necesitan el tamaño de inversión y un flujo de caja neto proyectado”.

Para la asociación agroartesanal de caficultores Río Intag “AACRI”, con los cálculos obtenidos del VAN, dando un resultado de un proyecto rentable, para los cálculos del TIR se precede a despejar la variable.

$$0 = -3581,98 + \frac{3634,92}{(1 + TIR)^1} + \frac{3816,66}{(1 + TIR)^2} + \frac{4007,49}{(1 + TIR)^3}$$

Despejando la variable TIR, mediante el comando *solve* de la calculadora HP Prime [40].

$$TIR = 0,8910 * 100\% = 89,10 \%$$

Cualquier valor igual o menor a esa tasa de inversión se aceptaría el proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Al realizar la comparación entre la tamizadora que cuenta la Asociación Río Intag, con el nuevo diseño de la tamizadora de tambor rotatorio, mediante cálculos y simulaciones, el diseño de la tamizadora de tambor rotatorio aumenta la producción de tamizado de café en un 45%, ahorrando tiempo de tamizado en 60% y mano de obra en un 40%, gracias a la función de las secciones de tambor rotatorio que tiene 2112 milímetros de longitud con diámetro de 637 milímetros en total, a comparación a las dos planchas de tamiz de 95 x 78 milímetros que cuenta la Asociación.

- La sección de las planchas baroladas son muy eficaces para los tamaños de café que va a ser sometido al proceso de tamizado, depende de la inclinación del tambor que puede variar desde casi 6 milímetros a 100 milímetros por metro de longitud, según sea el número de kilogramos de café a tratar, la capacidad del tamiz rotatorio se podrá aumentar con la velocidad de rotación de este, tomando en cuenta evitar el cegado del tamiz por acumulación y atascos del café en sus cribas. Si se sobrepasa los 83 RPM del motorreductor, el material ya no se desliza sobre la superficie tamizante, y resultará arrastre del producto por el tambor de giro, debido a la acción de la fuerza centrífuga, una inadecuada velocidad resultaría el cegado de las planchas del tamiz por acumulación y atascos del material por las cribas.

- Para la asociación agroartesanal de caficultores Río Intag “AACRI” la inversión de la tamizadora de tambor rotatorio, es rentable ya que una inversión de \$ 3581,98, el tiempo de recuperación de la inversión es aproximadamente 12 meses, cabe recalcar que el proceso de tamizado del café aporta un 10% al valor del café, y la primera clasificación realiza un 10% del trabajo de clasificación el total del valor de esta clasificación alcanza los \$ 720,00 mensuales, de los cuales se descuentan los costos de mantenimiento, consumo de energía eléctrica y mano de obra, dando un

valor neto de producción de \$ 302,91 mensuales, con este valor al año tiene un VAN aceptable al 100 % y un TIR aprobado para el proyecto.

- El espesor de las planchas que se destinarán para los bastidores es de 6 milímetros, lo que se puede considerar elevado, lo que generaría un factor de seguridad mínimo de 1,6 en la sección superior del bastidor dos, si se desea aumentar la eficiencia del resto de bastidores se podría disminuir su espesor, requeriría la compra de una plancha adicional de acero A36 de un espesor inferior, y dado que las planchas de este tipo de acero están disponibles en dimensiones de 1,22 metros x 2,44 metros se generaría un desperdicio de material considerable.

- La potencia necesaria calculada para vencer la inercia del tambor con una carga de 50 kilogramos de grano es de apenas 128 watt, por lo que el diseño de los elementos accionados por el motor se dimensionó de acuerdo con éste. Por consideraciones de pérdidas por rozamiento se ha seleccionado un motor reductor eléctrico de un kilowatt, que puede ser controlado mediante un variador de frecuencia. En este diseño se ha seleccionado un variador de frecuencia programable con una potencia máxima de uno y medio kilowatt, el cual puede controlar la velocidad de giro del motor.

5.2 Recomendaciones

- Si se usase en su totalidad las planchas de acero inoxidable perforado, la cual es de un metro, para realizar los módulos del tambor la tamizadora terminaría siendo demasiado larga, ya que sobrepasaría los cuatro metros de largo, por ello se decidió usar seis módulos de trescientos cincuenta milímetros con lo que la tamizadora alcanza una longitud de tres metros con ciento treinta y dos milímetros. Si otra planta dispusiese de espacio suficiente se podría usar la totalidad de las planchas.
- Los bastidores se pueden elaborar con planchas de acero A36 más delgadas siempre y cuando se refuerce las zonas de conexión en el bastidor regulable, ya que esta fue el limitante por el cual se dimensionó un espesor de seis milímetros.
- Se puede usar cualquier configuración entre las seis secciones del tambor giratorio, éstos se diseñaron con un enfoque modular, por ello se usan configuraciones de seis agujeros equidistantes en los anillos de conexión, con esto no existirán problemas de orientación o posición.
- Los elementos más sometidos al desgaste se diseñaron para ser desmontables con pernos y tuercas, tales como las tolvas de salida y las secciones del tambor giratorio, con esto se los puede reemplazar si se amerita sin necesidad de desmontar toda la máquina.
- En un futuro se puede automatizar la tamizadora con sensores de velocidad de giro de tambor, lo que requerirá un nuevo sistema de variador de frecuencia y un PLC adicional además de los sensores, esto puede volver aún más eficiente la maquinaria y ahorrar el trabajo de verificación a un operario.
- La capacitación del operario no superará las 8 horas ya que el variador de frecuencia seleccionado solo debe ser encendido ya que puede ser pre

programado, se indicaría manuales de desmontaje y mantenimiento en caso de llegar a ensamblar la tamizadora.

- El motor reductor se seleccionó para poder utilizar junto al variador de frecuencia las instalaciones eléctricas disponibles actualmente en la planta de empaquetado, por ello sus características de alimentación es de 220V bifásico.
- La tamizadora se diseñó para ocupar el espacio disponible en la planta de empaquetado tras retirar la tamizadora de pantalla vibratoria que reemplazaría, por ello no es necesario realizar ninguna obra civil para su instalación.
- Los sobrantes de 150 mm de los tambores pueden ser usados como repuestos de los tambores si existiese un desgaste que lo amerite.

Referencias

- [1] J. Pérez Porto y A. Gardey, «Definiciones.de,» 2016. [En línea]. Available: <https://definicion.de/tamizado/>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [2] Significados, «Significados.com,» [En línea]. Available: <https://www.significados.com/organico/>. [Último acceso: 12 Junio 20019].
- [3] BioDic, «Diccionario de Biología,» Un diccionario de términos científicos, sencillo., [En línea]. Available: <https://www.biodic.net/palabra/caficultura/>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [4] Reverso Diccionario, «diccionario.reverso.net,» [En línea]. Available: <https://diccionario.reverso.net/espanol-definiciones/rotatorio>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [5] Wikipedia, «wikipedia.org,» 14 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [6] M. Torres, «Scribd,» 18 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/4696567/Dimensionamiento>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [7] J. Pérez Porto y M. Merino, «Definiciones.de,» 2012. [En línea]. Available: <https://definicion.de/cafe/>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [8] Wordreference, «wordreference.com,» [En línea]. Available: <https://www.wordreference.com/definicion/galvanizado>. [Último acceso: 12 Junio 2019].
- [9] E. Cobos, «Gestión Digital,» Multiplica ediciones, 19 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/el-cafe-ecuadoriano-no-levanta-cabeza>. [Último acceso: 13 Junio 2019].

- [10] Nestlé, «[nestle.com](http://www.nestle.com),» Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www1.nestle.com.ec/marcas/cafe/elcafeysusefectosenelorganismo>.
- [11] N. Jiménez, «aromasdete.com,» 2017. [En línea]. Available: <http://blog.aromasdete.com/todo-sobre-el-cafe-origenes-variedades-propiedades-y-beneficios/>.
- [12] G. Gómez, «Beneficio del café,» *Geografía Agrícola*, p. 93, 2010.
- [13] Fórum del café, «forumdelcafe.com,» 29 Agosto 2011. [En línea]. Available: http://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-34_cafe_sudamerica.pdf.
- [14] F. Vicente Cardenas y E. Washigton Macias, «Tipos, productores y mercado internacional,» *Cafes especializados*, p. 12, 2008.
- [15] J. Ortega Bardellini, «Estudio del Café en el Ecuador,» *Análisis Sectorial del Ecuador*, pp. 2-3, 2015.
- [16] P. Esquivel y P. Jiménez, «Functional properties of coffee and coffee by-products,» *Food Research International*, pp. 1-4, 2011.
- [17] Driftaway Coffee, «Driftaway Coffee,» Coffeecademy. Origin, 18 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://driftaway.coffee/coffee-grades/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2018].
- [18] International Trade Center, «The Coffe Guide,» [En línea]. Available: <http://www.thecoffeeguide.org/coffee-guide/coffee-quality/bean-size/?langtype=2057>. [Último acceso: 30 Noviembre 2018].
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, «Café en Grano, Determiación del tamaño,» INEN, Quito, 2016.
- [20] Catunambu, «El café de Andalucía,» 22 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.catunambu.es/index.php/blog/94-el-porque-es-importante-el-tamano-de-un-grano-de-cafe>. [Último acceso: 30 Noviembre 2018].

- [21] Café de Colombia, «www.cafedecolombia.com,» Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010. [En línea]. Available: http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/. [Último acceso: 21 Febrero 2019].
- [22] P. Torres, «[stackexchange.com](https://coffee.stackexchange.com),» 16 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://coffee.stackexchange.com/questions/2175/what-factors-determine-coffee-bean-size>. [Último acceso: 2 Julio 2019].
- [23] Mundo Intag, «INTAG "Un Mundo por Descubrir",» [En línea]. Available: <http://intag-ecuador.blogspot.com/p/mapa.html>. [Último acceso: 30 Noviembre 2018].
- [24] Innopharma technology, «[Innopharmalabs](http://www.innopharmalabs.com),» [En línea]. Available: <https://www.innopharmalabs.com/tech/applications-and-processes/sieve-analysis>. [Último acceso: 7 Febrero 2019].
- [25] TRIPOD, «<http://ecfacl.tripod.com>,» [En línea]. Available: <http://ecfacl.tripod.com/teoria.htm>. [Último acceso: 21 Febrero 2019].
- [26] INDUTRA, «[indutra.com](http://www.indutra.com),» [En línea]. Available: http://www.indutra.com/tamiz_vibratorio_det.php. [Último acceso: 8 Febrero 2019].
- [27] 911Metallurgist, «[911metallurgist.com](http://www.911metallurgist.com),» [En línea]. Available: <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/tamiz-vibratorio-pequeno/>. [Último acceso: 8 Febrero 2019].
- [28] Imcovex SA, «imcovex.com,» 2012. [En línea]. Available: <http://imcovex.com/imcovex/portfolio/zaranda-tamizador-centrifugo-rotativo/>. [Último acceso: 08 Febrero 2019].
- [29] IMAWATER, «[plantasdeosmosis.com](http://www.plantasdeosmosis.com),» [En línea]. Available: <https://www.plantasdeosmosis.com/productos/equipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales/7/tamiz-rotativo/>. [Último acceso: 08 Febrero 2019].

- [30] Hongyuan Vibration, «Tamiz vibratorio lineal,» HONGYUAN , Tamiz vibratorio lineal, 2019.
- [31] Repermetal, «Innovación y Experiencia en Planchas y Láminas Metálicas,» [En línea]. Available: <https://www.repermetal.com/>. [Último acceso: 10 Mayo 2019].
- [32] J. Montilla-Pérez, J. Arcila-Pulgarín, M. Aristizábal-Loaiza, E. Montoya-Restrepo, G. Puerta-Quintero, C. Oliveros-Tascón y G. Cadena -Gómez, «PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE CONVERSIÓN DEL CAFÉ EN EL PROCESO DE BENEFICIO,» *Cenicafé*, vol. 1, n° 370, pp. 4-5, 2008.
- [33] R. C. Juvinall, Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica, México: LIMUSA NORIEGA EDITORES, 1996.
- [34] R. G. Budynas y K. Nisbett, «Esfuerzos cortantes,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, D. F, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2008, p. 126.
- [35] NORD DriveSystems, «nord.com,» [En línea]. Available: https://www.nord.com/cms/es/product_catalogue/geared_motors/parallel_shaft_geared_motors/pgop_parallel_shaft_geared_motors~1_1541.jsp. [Último acceso: 10 Mayo 2019].
- [36] SkyCiv, «Análisis Estructural y Diseño Made Easy,» [En línea]. Available: <https://skyciv.com/es/>. [Último acceso: 5 Mayo 2019].
- [37] AISC, Manual de construcción de acero, Chicago, 2017.
- [38] S. K. Vargas Borja, «Plan de negocio estratégico para incrementar las ventas de las consultoras de la marca BELCORP del cantón Durán,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2016.
- [39] HP Store Ecuador, «hpstoreecuador.ec,» [En línea]. Available: http://www.hpstoreecuador.ec/index.php?option=com_hikashop&ctrl=product&task=show&cid=58&name=calculadora-hp-prime-graphing&Itemid=435. [Último acceso: 28 Mayo 2019].

- [40] J. N. Wintgens, «Botany and Genetics of Coffee,» *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*, p. 32, 2004.
- [41] P. Suneal, «10 Diferencias entre Robusta y Arábica Coffe,» *The Roasters Pack News*, pp. 1-2, 2014.
- [42] S. Abu Sabbah, «RPP Noticias,» RPP PODCAST, 28 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/lima/actualidad/las-propiedades-del-cafe-y-su-consumo-adecuado-noticia-830812>. [Último acceso: 29 Noviembre 2018].
- [43] tescoma, «tescoma.es,» [En línea]. Available: <http://www.tescoma.es/hornear/utensilios-y-accesorios-para-hornear/delicia/630334-tamiz-manual-delicia-18-cm?page=5&category=hornear%2Futensilios-y-accesorios-para-hornear%2Fdelicia&show%5Bmiddle%5D=description&show%5Bbottom%5D=catalog>. [Último acceso: 8 Febrero 2019].
- [44] TARNOS, «tarnos.com,» 18 Junio 2007. [En línea]. Available: https://www.tarnos.com/wp-content/uploads/pdf/vibracion/es/vibradores_rotativos.pdf. [Último acceso: 21 Febrero 2019].
- [45] Labopolis, S.L., «Tamiazadoras centrífugas,» webexperto.es, Madrid, 2015.
- [46] Retsch, «Vibratory Sieving,» Verder scientific, Haan, 2017.

Anexos: Fotografías



Fotografía 1. Planta de la Asociación Agroartesanal de Caficultores "RÍO INTAG" – AACRI



Fotografía 2. Método artesanal de secado de café en los patios de la planta de la Asociación.



Fotografía 3. Máquina Tamizadora actual de la plata AACRI.



Fotografía 4. Planta de empaquetado de la Asociación AACRI.

Planos: