Diseño y Construcción de un Prototipo Semiautomático de Rebanador de Plátano para la Producción de Chips en Microempresas

Juan Pablo Carreño Guerrero y Nicolas Mantilla Flórez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

Jorge Enrique Meneses

Magister en Ingeniería Mecánica

Codirector

Alejandro Sierra Vargas

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, Jesús Alberto Carreño Duarte y Rosa Guerrero Diaz, por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, amor y perseverancia, y por creer en mi incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, Juan Sebastián Carreño Guerrero y Paula Andrea Carreño Guerrero, por su constante ánimo y brindarme el apoyo emocional que necesitaba para continuar. Finalmente, a mis amigos y a todas las personas que me acompañaron, de una u otra manera, en esta etapa de mi vida, sus palabras y compañía hicieron de este camino una experiencia grata que llevare por el resto de mi vida.

Juan Pablo Carreño Guerrero

A mis padres, Juan Martin Mantilla y Lina María Flórez, por su amor y apoyo incondicional en mi vida y cada etapa de ella, por hacer de mi la persona resiliente que soy y por nunca dejarme desistir de cada cosa que hago. A mi abuela, Emérita Rodríguez, que en paz descansa y sé que desde el cielo debe estar orgullosa de mí, por su gran amor, por cada enseñanza brindada y por creer tanto en mí. A mi hermano, Julián Mantilla, por motivarme a continuar y lograr cada sueño que me propongo aun con tantas adversidades que se presenten. A mis amigos, compañeros y futuros colegas, por hacer de esta travesía una etapa tan única en mi vida que me hace desear volverla a vivir. A mi pareja, Alexandra Rueda, por estar a mi lado en cada momento de angustia, por apoyarme en cada noche frustrante de estudio, por recordarme a cada momento el buen profesional que seré y hacer de mí una mejor persona. Y finalmente a mi compañera incondicional, mi perrita Candy, que estuvo presente desde el primer día de mi carrera hasta el último aguantándome y siendo mi apoyo emocional en cada momento.

Nicolas Mantilla Flórez

Agradecimientos

Al profesor Jorge Enrique Meneses por su apoyo brindado, críticas constructivas, consejos y confianza durante este proceso y a lo largo de la carrera.

Al Centro Industrial de Mantenimiento Integral - SENA por permitirnos el uso de maquinaria y equipos para la fabricación, construcción y desarrollo de nuestro proyecto.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica que nos brindaron conocimiento, respondieron dudas y nos dieron su punto de vista a lo largo de este proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, por formarnos en esta larga etapa como ingenieros mecánicos.

A la empresaria Rosa Guerrero Diaz por brindarnos de su conocimiento con respecto a la industria de los fritos, la confianza, el apoyo económico y permitirnos utilizar su fábrica para la toma de datos y realizar la prueba final de este proyecto.

Tabla de Contenido

Pág.

Introducción 16

1. Objetivos 17

1.1 Objetivo General 17

1.2 Objetivos Específicos 17

2. Descripción del Proyecto Realizado 18

2.1 Subsistemas Implementados 18

2.1.1 Subsistema de Rebanado 18

2.1.2 Subsistema de Transmisión de Potencia 19

2.1.3 Subsistema de Potencia y Control 19

2.1.4 Subsistema Estructural 19

3. Diseño Conceptual 20

3.1 Despliegue de la Función de Calidad QFD 20

3.1.1 Requerimientos del Cliente 20

3.1.2 Matriz de Calidad 20

3.2 Planteamiento de Alternativas 21

3.2.1 Alternativas Subsistema de Rebanado 21

3.2.1.1 Alternativa 1 21

3.2.1.2 Alternativa 2 22

3.2.1.3 Alternativa 3 23

3.2.1.4 Selección de Alternativa del Subsistema de Rebanado. 23

3.2.2 Alternativas Subsistema de Transmisión de Potencia 24

3.2.2.1 Transmisión por Correas. 24

3.2.2.2 Transmisión por Cadena. 24

3.2.2.3 Transmisión por Engranajes Rectos 25

3.3. Especificaciones de la Maquina Rebanadora 25

4. Diseño de Detalle 25

4.1 Caracterización de Datos Iniciales 26

4.1.1 Caracterización del Entorno 26

4.1.2 Caracterización Parámetros del Proceso 27

4.2 Subsistema de Rebanado 29

4.2.1 Ducto de Alimentación 29

4.2.2 Disco 29

4.2.3 Cuchilla 33

4.3 Subsistema Transmisión de Potencia 37

4.3.1 Motor 37

4.3.2 Transmisión por Correas 38

4.3.3 Eje 41

4.3.4 Selección de Rodamientos 46

4.4 Subsistema de Potencia y Control 48

4.5 Subsistema Estructural 50

5. Análisis Estático por Software CAD 54

5.1 Análisis del Disco de Corte 54

5.2 Análisis de la Cuchilla 57

5.3 Análisis del Eje Principal 59

6. Construcción, Prueba de Funcionamiento del Prototipo y Resultados 62

6.1 Construcción del Prototipo 62

6.1.1 Bastidor 62

6.1.2 Eje, Disco de Corte y Cuchilla 63

6.1.2.1 Fabricación del Eje Principal 63

6.1.2.2 Fabricación del Disco de Corte 64

6.1.2.3 Fabricación de la Cuchilla 66

6.1.3 Ducto de Alimentación y Pisón 66

6.1.3.1 Fabricación del Ducto de Alimentación. 66

6.1.3.2 Fabricación del Pizón. 67

6.1.4 Subsistema de Potencia y Control 68

6.1.5 Cubiertas Protectoras y Guardas de Seguridad 69

6.1.6 Construcción del Prototipo 70

6.2 Prueba de Funcionamiento 72

6.2.1 Prueba de Funcionamiento de la Maquina Sin Carga 72

6.2.2 Prueba de Funcionamiento de la Maquina Con Carga 73

6.2.3 Verificación de Consumo y Potencia de la Maquina 73

6.3 Resultados 74

7. Plan de Mantenimiento Preventivo y Manual de Uso 77

7.1 Plan de Mantenimiento Preventivo 77

7.1.1 Actividades Diarias 77

7.1.2 Actividades Mensuales 77

7.1.3 Actividades Anuales 78

7.2 Recomendaciones de Seguridad y Mantenimiento 78

7.3 Manual de Operación 79

7.3.1 Alistamiento de Encendido de la Maquina 79

7.3.2 Encendido y Apagado de la Maquina 81

7.3.3 Operación de Rebanado de Plátano 82

7.3.4 Parada de Emergencia de la Maquina 83

8. Viabilidad e Impacto Económico 84

8.1 Costos de Fabricación 84

8.1 Viabilidad 84

9. Conclusiones 87

Referencias Bibliográficas 88

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 *Matriz QFD.* 21

Tabla 2 *Matriz PUGH* 24

Tabla 3 *Definición de β* 32

Tabla 4 *Dimensiones del Disco de Corte* 32

Tabla 5 *Ecuaciones y Variables de Entrada para el Diseño de la Cuchilla* 33

Tabla 6 *Variables de Salida del Punto Crítico de la Cuchilla* 36

Tabla 7 *Selección de Correa y Polea* 39

Tabla 8 *Fuerzas Sobre la Polea Conducida* 40

Tabla 9 *Ecuaciones y Variables de Entrada del Diseño del Eje Principal* 42

Tabla 10 *Variables de Salida del Eje Principal en el Punto Crítico 3* 46

Tabla 11 *Especificaciones Rodamiento SKF* 47

Tabla 12 *Ecuaciones y Variable de Entrada Selección de Rodamientos* 47

Tabla 13 *Variable de Salida del Rodamiento* 48

Tabla 14 *Componentes Eléctricos* 50

Tabla 15 *Convergencia del Factor de Seguridad en el Eje Principal* 62

Tabla 16 *Construcción del Prototipo* 70

Tabla 17 *Check List de Funcionamiento Sin Carga* 73

Tabla 18 *Check List de Funcionamiento Con Carga* 73

Tabla 19 *Costo Total Maquina Rebanadora de Plátano* 84

Tabla 20 *Flujo de Caja Anual* 85

Tabla 21 *Payback* 86

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 *Alternativa 1* 22

Figura 2 *Alternativa 2* 22

Figura 3 *Alternativa 3* 23

Figura 4 *Maquina Rebanadora de Plátanos* 25

Figura 5 *Dimensiones de la Paila de Aceite* 26

Figura 6 *Dimensiones Zona de Fritura* 27

Figura 7 *Esquema de Entrada del Plátano al Disco* 28

Figura 8 *Herramienta de Empuje "Pizón"* 29

Figura 9 *Distancia Radial Mínima al Extremos Más Lejano de la Cuchilla* 30

Figura 10 *Placa Anular Plana de Espesor Constante.* 31

Figura 11 *Dimensiones y Fuerzas sobre la Cuchilla* 34

Figura 12 *Diagrama de Fuerza Axial de la Cuchilla* 35

Figura 13 *Diagrama de Fuerza Cortante de la Cuchilla* 35

Figura 14 *Diagrama de Momento Flector de la Cuchilla* 36

Figura 15 *Subsistema de Transmisión de Potencia de la Maquina Rebanadora* 38

Figura 16 *Diseño Final del Eje Principal* 43

Figura 17 *Diagrama de Fuerza Axial en el Eje Principal* 44

Figura 18 *Diagrama de Torque en el Eje Principal* 44

Figura 19 *Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el Eje Principal para el Plano XY* 44

Figura 20 *Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el Eje Principal para el Plano XZ* 45

Figura 21 *Plano Eléctrico de la Rebanadora de Plátano* 49

Figura 22 *Esquema CAD Caja Eléctrica* 50

Figura 23 *Diseño del Bastidor* 51

Figura 24 *Mallado y Aplicación de Fuerzas sobre el Bastidor* 52

Figura 25 *Análisis de Tensiones* 52

Figura 26 *Análisis de Deformaciones* 53

Figura 27 *Análisis de Factor de Seguridad del Bastidor* 53

Figura 28 *Vista Isométrica del Disco* 54

Figura 29 *Mallado y Aplicación de Fuerzas en el Disco* 55

Figura 30 *Resultado Análisis de Tensiones en el Disco* 55

Figura 31 *Resultado Análisis de Desplazamiento del Disco* 56

Figura 32 *Resultado Factor de Seguridad del Disco* 56

Figura 33 *Vista Isométrica de la Cuchilla* 57

Figura 34 *Mallado y Aplicación de Fuerzas de la Cuchilla* 57

Figura 35 *Resultado Análisis de Tensiones en la Cuchilla* 58

Figura 36 *Resultado Análisis de Desplazamientos en la Cuchilla* 58

Figura 37 *Factor de Seguridad en la Cuchilla* 59

Figura 38 *Diseño del Eje Principal en AISI 304* 59

Figura 39 *Mallado y Aplicación de Fuerzas del Eje Principal* 60

Figura 40 *Resultado Análisis de Tensiones en el Eje Principal* 60

Figura 41 *Resultado Análisis de Desplazamientos en el Eje Principal* 61

Figura 42 *Factor de Seguridad en el Eje Principal* 61

Figura 43 *Materiales para el Bastidor* 63

Figura 44 *Bastidor de la Maquina Rebanadora de Plátano* 63

Figura 45 *Procesos de Mecanizado del Eje* 64

Figura 46 *Eje Principal* 64

Figura 47 *Partes del Disco de Corte.* 65

Figura 48 *Disco de Corte* 65

Figura 49 *Cuchilla* 66

Figura 50 *Ducto de Alimentación* 67

Figura 51 *Herramienta de Empuje "Pizón"* 68

Figura 52 *Componentes del Sistema Eléctrico* 69

Figura 53 *Sistema Eléctrico de la Maquina* 69

Figura 54 *Cubiertas y Guardas de Seguridad* 70

Figura 55 *Prototipo Maquina Rebanadora de Plátano* 72

Figura 56 *Consumo de Corriente de la Maquina* 74

Figura 57 *Espesor y Longitud de la Tajada* 75

Figura 58 *Cantidad de Plátano Antes del Proceso de Rebanado* 76

Figura 59 *Separación del Producto Final* 76

Figura 60 *Medición del Peso del Producto Final* 76

Figura 61 *Pizón Fuera del Ducto de Alimentación* 79

Figura 62 *Conexión de la Maquina a la Fuente de Alimentación* 80

Figura 63 *Breaker en Estado OFF* 80

Figura 64 *Maquina en Estado de Parada de Emergencia* 81

Figura 65 *Maquina Encendida*..... 81

Figura 66 *Maquina Apagada* 82

Figura 67 *Ingreso del Plátano* 82

Figura 68 *Manejo de la Herramienta "Pizón"*..... 83

Figura 69 *Pulsador Parada de Emergencia* 83

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Diámetro del Plátano

Apéndice B. Fuerza de Corte del Plátano

Apéndice C. Calculo Tiempo de Rebanado

Apéndice D. Velocidad de Corte Manual

Apéndice E. Fuerza de Empuje

Apéndice F. Coeficiente de Fricción Plátano-Cuchilla

Apéndice G. Calculo Diseño Cuchilla

Apéndice H. Diseño de Transmisión por Correas

Apéndice I. Diseño del Eje Principal

Apéndice J. Tablas y Graficas para el Diseño del Eje Principal

Apéndice K. Selección de Rodamientos por Catalogo SKF

Apéndice L. Planos Rebanadora de Plátanos

Apéndice M. Costos

Resumen

Título: Diseño y Construcción de un Prototipo Semiautomático de Rebanador de Plátano para la Producción de Chips en Microempresas*

Autor: Juan Pablo Carreño Guerrero y Nicolas Mantilla Flórez**

Palabras Clave: Diseño, Construcción, Plátano, Rebanado

Descripción:

Las microempresas dedicadas a la producción de snacks fritos, en especial de chips de plátanos, cuentan con métodos rudimentarios en sus procesos de pelado, rebanado y empacado debido al alto costo que implica implementar alternativas industriales que mejoren estos procesos; asimismo, el tiempo dedicado a cada etapa es muy alto, en especial el proceso de rebanado y, por ende, no llegan a suplir la demanda de la producción.

Para mejorar esta etapa y brindar una alternativa asequible para las microempresas, se diseñó y construyó una maquina rebanadora de plátano semiautomática con capacidad de producción de 55 kg en 15 minutos, disminuyendo considerablemente el tiempo que actualmente se toma el operario en rebanar la misma cantidad de materia prima. Además, la maquina genera rebanadas de 4 mm de espesor y genera un desperdicio de materia prima menor al 10%.

Esta máquina se compone de una transmisión por poleas accionadas por un motor eléctrico monofásico, las cuales transmiten la potencia hacia un disco de corte por medio de un eje. El rebanado es realizado por una cuchilla anclada al disco y la materia prima ingresa por medio de un ducto de alimentación que posee una inclinación ya establecida, y es empujado por medio de una herramienta tipo "pizón", donde posteriormente caen a una paila con aceite caliente para continuar su proceso de fritura. A su vez, se realizó un análisis económico sobre el impacto que tendría una microempresa si decide implementar la maquina dentro de sus operaciones.

---

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería mecánica. Programa académico. Director: Jorge Enrique Meneses. Magister en Ingeniería mecánica. Codirector: Alejandro Sierra Vargas. Ingeniero mecánico

Abstract

Title: Design and Construction of a Semi-Automatic Banana Slicer Prototype for Chip Production in Microenterprises *

Author(s): Juan Pablo Carreño Guerrero y Nicolas Mantilla Flórez**

Key Words: Design, Construction, Banana, Slicing.

Description:

Micro-enterprises engaged in the production of fried snacks, especially plantain chips, use rudimentary methods for peeling, slicing, and packaging due to the high cost of implementing industrial alternatives that would improve these processes. Furthermore, the time required for each stage is very high, especially the slicing process, and as a result, they are unable to meet production demand.

To improve this stage and provide an affordable alternative for micro-enterprises, a semi-automatic banana slicing machine was designed and built with a production capacity of 55 kg in 15 minutes, significantly reducing the time currently taken by the operator to slice the same amount of raw material. In addition, the machine produces slices that are 4 mm thick and generate less than 10% of waste material.

This machine consists of a pulley transmission driven by a single-phase electric motor, which transmits power to a cutting disc via a shaft. Slicing is performed by a blade anchored to the disc, and the raw material enters through a feed chute with a predetermined incline and is pushed by a "rammer" type tool, after which it falls into a pan with hot oil to continue the frying process. In turn, an economic analysis was carried out on the impact that a micro-enterprise would have if it decided to implement the machine within its operations.

---

* Degree Work

**Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Master in Mechanical Engineering Jorge Enrique Meneses. Co-Director: Mechanical Engineer Alejandro Sierra Vargas

Introducción

Las microempresas constituyen un pilar fundamental en la economía de Colombia, representando aproximadamente el 95% de las empresas registradas en el país. En el área metropolitana de Bucaramanga, se registraron alrededor de 73.000 empresas en la Cámara de Comercio en el año 2022, donde el 94% fue representado por microempresas (BLU Radio, 2023), las cuales han sido clave para alcanzar una tasa de desempleo del 7,9 %, la más baja a nivel nacional (Alguero, 2023). Entre estas microempresas, se destacan aquellas dedicadas a la producción y procesamiento de alimentos, particularmente en la elaboración de chips de plátano.

Sin embargo, estas microempresas se ven limitadas en la modernización de sus procesos debido a la escasez de recursos o falta de inversionistas, lo que conlleva a la realización de los procesos de forma manual que ralentiza la producción, la dependencia operacional a un único trabajador y la exposición a posibles lesiones o cortes durante el proceso de rebanado del plátano. A pesar de la disponibilidad de maquinaria en el mercado para este propósito, no todas se ajustan a los requerimientos o estilo de rebanado de las microempresas.

Ante esta problemática, se propone el diseño y construcción de un prototipo semiautomático de un rebanador de plátano para la producción de chips, el cual mejore la capacidad de producción y la seguridad del trabajador. A su vez, la adquisición de esta máquina asegura una consistencia en las dimensiones de las rebanadas de plátano, siendo un factor crucial para el aprovechamiento de la materia prima, la presentación y comercialización del producto, lo que influye directamente en la competitividad de la microempresa en el mercado. En consecuencia, la implementación de la máquina no solo ocasionará beneficios tangibles en el corto plazo, sino que también establecerá las bases para un crecimiento sostenible y una mayor resiliencia empresarial a largo plazo.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseño y construcción de un prototipo semiautomático de un rebanador de plátano para la producción de chips en microempresas.

1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una rebanadora de plátano semiautomática para la producción de chips que cumplan con los siguientes requerimientos:
  - Capacidad de producción de 55 kg en aproximadamente 10 a 15 minutos.
  - Desperdicio de materia prima de 5% a 10%.
  - Segura, de fácil mantenimiento y operación para el trabajador.
- Construir el prototipo funcional de la rebanadora de plátano semiautomática, que satisfaga los requerimientos básicos en una microempresa.
- Realizar el plan de mantenimiento para la maquina rebanadora de plátanos con su manual de operación.
- Evaluar el impacto económico que ocasiona la rebanadora de plátano semiautomática en una microempresa.

2. Descripción del Proyecto Realizado

La máquina rebanadora mejorará el proceso del corte de plátano, de tal modo que pueda ser manipulada por cualquier trabajador; aumentará la producción de la empresa y reducirá el riesgo a incidentes o accidentes laborales.

El principio de funcionamiento consiste en introducir el plátano a través de un ducto de alimentación que lo conduce directamente a la(s) cuchilla(s) de corte, donde se lleva a cabo el proceso de rebanado. Las tajadas obtenidas caen inmediatamente en un recipiente con aceite a alta temperatura, continuando así la transformación de la materia prima.

Dado que la máquina está destinada al sector alimenticio, su diseño debe cumplir con las regulaciones establecidas por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), el cual, mediante la Resolución 4142 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social, define los materiales aptos para el contacto con alimentos. Por tanto, los materiales utilizados para el diseño de la maquina estarán sujetos a esta normativa.

2.1 Subsistemas Implementados

Para el diseño de la maquina rebanadora se definieron cuatro subsistemas principales que garanticen el correcto funcionamiento del equipo para cualquier alternativa seleccionada.

2.1.1 Subsistema de Rebanado

Este subsistema permite realizar el proceso principal de corte. Estará compuesto por la(s) cuchilla(s), el soporte de la(s) cuchilla(s), el cual puede ser móvil o fijo, el ducto de alimentación, encargado de guiar el plátano hasta el punto de contacto con la(s) cuchilla(s), y el elemento de empuje, cuya función es impulsar el plátano contra la(s) cuchilla(s) para garantizar rebanas uniformes.

2.1.2 Subsistema de Transmisión de Potencia

Su propósito es transferir la potencia generada por el motor hacia el subsistema de rebanado. Estará constituido por un motor eléctrico, un sistema de transmisión encargado de adaptar la velocidad y torque requerido, un eje que transmite el movimiento hacia el punto de corte y los apoyos del eje que garantizan su estabilidad y alineación.

2.1.3 Subsistema de Potencia y Control

Este subsistema establece una interfaz básica hombre-máquina para la puesta en marcha del equipo, además de proteger el motor ante posibles anomalías en la red eléctrica. Estará conformado por un breaker, un contactor, un relé, pulsadores de encendido y apagado, un pulsador de parada de emergencia y luces piloto que informan el estado operativo de la maquina en todo momento.

2.1.4 Subsistema Estructural

Tiene como finalidad brindar soporte y estabilidad a todos los subsistemas de la máquina, garantizando su rigidez estructural y facilitando su desplazamiento en la zona de trabajo. Estará constituido por el bastidor principal, dos ruedas fijas y dos ruedas locas, las cuales permiten darle dirección al traslado del equipo.

3. Diseño Conceptual

3.1 Despliegue de la Función de Calidad QFD

3.1.1 Requerimientos del Cliente

Los requerimientos para la rebanadora de plátano surgen de las necesidades identificadas durante una conversación con una micro emprendedora, cuyo proceso de rebanado actualmente se lleva a cabo de manera manual. Los requerimientos mencionados son los siguientes:

- Rebanar 55 kg de plátano en 10- 15 minutos, bajo las dimensiones requeridas (longitud máxima de 13 centímetros y un espesor de 4 milímetros).
- Desperdicio de materia prima menor al 10%.
- Cumplimiento de normativa INVIMA.
- Fácil mantenimiento
- Segura para el operario
- Económica y de poco consumo
- Portabilidad
- Fácil operación

3.1.2 Matriz de Calidad

Los requerimientos mencionados anteriormente fueron organizados y ponderados acorde a su importancia según la opinión del cliente. Posteriormente se evaluaron en la matriz QFD de la Tabla 1, frente a los subsistemas de la maquina rebanadora. La calificación es de 5, 3, 1 y 0 donde 5 indica una alta importancia y 0 sin importancia, permitiendo identificar el subsistema que constituye la base para el diseño de las alternativas.

Tabla 1

Matriz QFD.

Calificación	
0	Sin importancia
1	Baja importancia
3	Importante
5	Alta importancia

Requerimientos del cliente	Prioridad	Requerimiento de diseño: Subsistema de Trans. Potencia	Subsistema Potencia y Control	Subsistema Estructural	Subsistema de Rebanado
Rebanado de 55 kg en 10-15 min	8	5	1	0	5
Segura	7	5	5	5	5
Desperdicio <10%	6	0	0	0	5
Fácil operación	5	3	3	1	5
Económica	4	5	3	1	3
Cumplimiento norma INVIMA	3	5	1	3	5
Fácil Mantenimiento	2	5	3	3	5
Portable	1	1	5	5	1
Importancia Absoluta		136	84	64	168
%Importancia Relativa		**30%**	**19%**	**14%**	**37%**
Evaluación de ingeniería		**2**	**3**	**4**	**1**

3.2 Planteamiento de Alternativas

La matriz QFD evidenció que el subsistema de rebanado es el más importante en el diseño de la máquina. A partir de este resultado, se plantearon las alternativas para el subsistema de rebanado y el subsistema de transmisión de potencia.

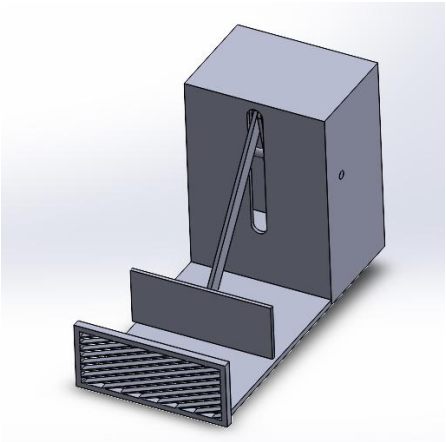
3.2.1 Alternativas Subsistema de Rebanado

3.2.1.1 Alternativa 1. Este diseño utiliza un mecanismo manivela-biela-corredera, que desplaza al plátano verde en dirección a una matriz de cuchillas que están dispuestas de forma diagonal con una distancia de una contra igual al espesor solicitado por el cliente.

.

Figura 1

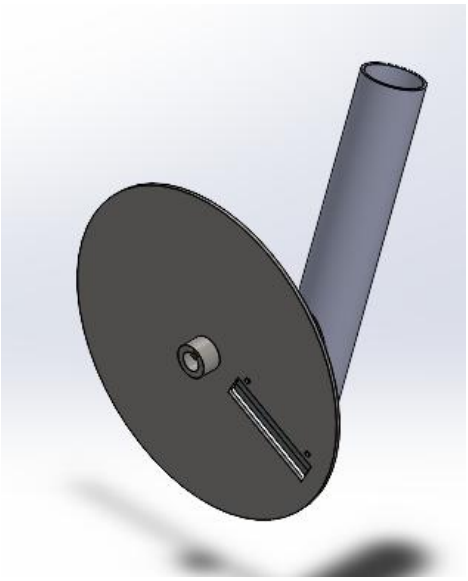
Alternativa 1

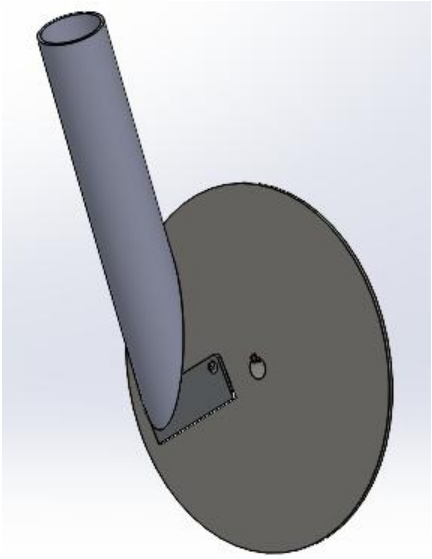


3.2.1.2 Alternativa 2. El subsistema está compuesto por un disco rotatorio que tiene incorporada una cuchilla, que gira a gran velocidad. Los plátanos ingresan a través de un ducto de alimentación, donde son guiados hacia el disco en movimiento con una inclinación establecida, permitiendo obtener las dimensiones en las rebanadas requeridas por el cliente.

Figura 2

Alternativa 2

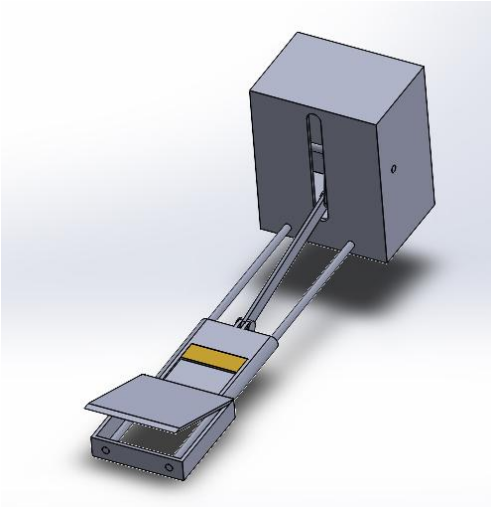




3.2.1.3 Alternativa 3. Esta alternativa se basa en replicar mecánicamente el movimiento que actualmente realiza el operario de forma manual. El subsistema está conformado por un mecanismo manivela-biela-corredera, donde la corredera se diseña para soportar la cuchilla de corte y se desplaza de forma lineal. El plátano, por su parte, descenderá por una plataforma inclinada mientras se realiza el corte de la rebanada.

Figura 3

Alternativa 3



3.2.1.4 Selección de Alternativa del Subsistema de Rebanado. Las alternativas previamente descritas fueron evaluadas en la Tabla 2 que corresponde a una Matriz PUGH (matriz de selección), con base en una serie de requerimientos específicos establecidos por el cliente para el subsistema de rebanado. Los criterios fueron organizados de mayor a menor según su nivel de importancia relativa definido igualmente por el cliente. Para la evaluación se utilizó una escala de calificación de 0 a 5, donde 5 es el mayor grado de cumplimiento del requisito y 0 es el menor.

Tabla 2

Matriz PUGH

		Alternativas de diseño		
	Prioridad	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**	**Alternativa 3**
Capacidad de corte	5	3	**5**	3
Integridad del producto	4	2	**3**	4
Segura	3	2	**4**	3
Complegidad constructiva	2	4	**3**	2
Facil Mantenimiento	1	1	**4**	3
Total		38	**59**	47

3.2.2 Alternativas Subsistema de Transmisión de Potencia

Tras la selección de la alternativa 2 del subsistema del rebanado, se plantearon tres posibles alternativas correspondientes a diferentes tipos de transmisión de potencia que podrían emplearse en el diseño de la máquina

3.2.2.1 Transmisión por Correas. Este tipo de transmisión se caracteriza por su fácil instalación y mantenimiento; además, su costo de adquisición es bajo y no produce mucho ruido. Sin embargo, es la opción que mayores pérdidas produce por deslizamiento y no es adecuada para transmitir cargas elevadas.

3.2.2.2 Transmisión por Cadena. A diferencia de la anterior, esta alternativa elimina el problema del deslizamiento, soporta mayor cantidad de carga y son más resistentes a ambientes corrosivos. No obstante, genera mayor nivel de ruido y vibraciones, requiere mantenimiento frecuente y es sensible a la desalineación de los componentes.

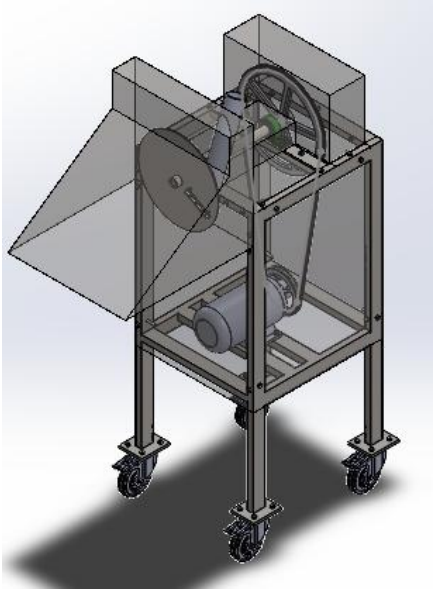
3.2.2.3 Transmisión por Engranajes Rectos. Es la alternativa que requiere menos espacio para transmitir la potencia, pero produce niveles elevados de ruido a altas velocidades, son costoso de fabricar y necesitan constante lubricación para evitar el desgaste prematuro.

3.3. Especificaciones de la Maquina Rebanadora

A partir del análisis anterior, la maquina estará compuesta por: un disco porta cuchilla que se encargará de sostener la herramienta de corte (Cuchilla) y transmitir el movimiento rotacional del eje para realizar el proceso de rebanado, en el subsistema de rebanado; el motor transmitirá la potencia al eje mediante una transmisión por correas, la cual fue seleccionada gracias a su fácil montaje, mantenimiento y su amplia disponibilidad en el mercado. En los posteriores capítulos, se desarrolló el diseño detallado de cada subsistema.

Figura 4

Maquina Rebanadora de Plátanos



4. Diseño de Detalle

El diseño de la maquina rebanadora de plátanos, se llevó a cabo mediante un proceso iterativo que consideró diversos factores, tales como la disponibilidad de los elementos, las

dimensiones, los cálculos teóricos, entre otros. A continuación, se presenta los valores finales del diseño.

4.1 Caracterización de Datos Iniciales

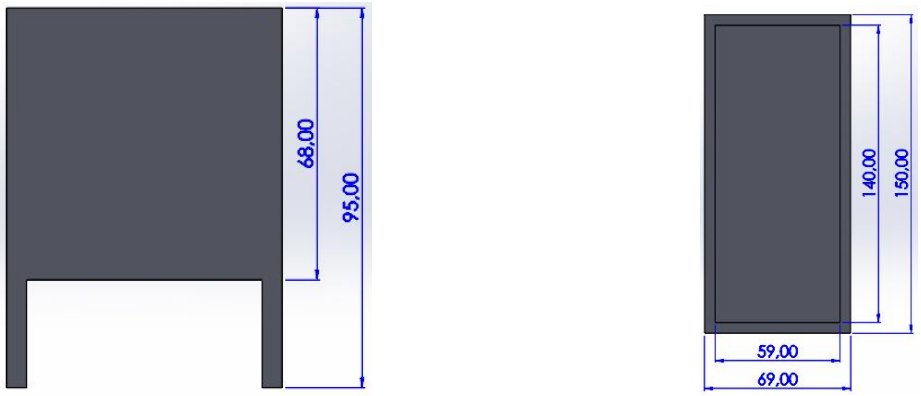
4.1.1 Caracterización del Entorno

La máquina operará en el municipio de Floridablanca, ubicado en el departamento de Santander, Colombia. La red de suministro local de energía proporciona una tensión nominal de 120 voltios en corriente alterna.

La máquina funcionará junto a un fondo de aceite caliente utilizado para la fritura inmediata del producto rebanado, el cual provocará variaciones de temperatura en el entorno que oscilan entre los 30 y 50 °C. Las dimensiones específicas de dicho fondo se presentan en la Figura 5. La máquina rebanadora y el fondo estarán ubicados en una zona especial para este proceso y sus dimensiones se muestran en la Figura 6. Estas características del entorno de operación fueron consideradas en la etapa inicial del diseño.

Figura 5

Dimensiones de la Paila de Aceite



a) *b)*

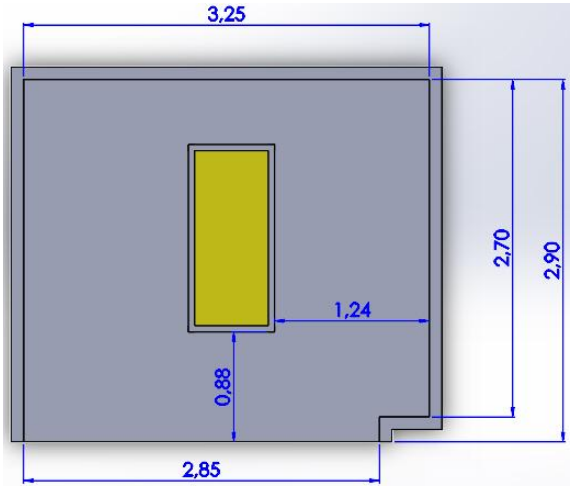
Nota: Las medidas están expresados en centímetros. a) Vista frontal de la paila. b) Vista superior de la paila.

4.1.2 Caracterización Parámetros del Proceso

Se determinaron una serie de parámetros esenciales para el diseño de la máquina rebanadora. El diámetro del plátano se estableció a partir de una serie de mediciones realizadas con un calibrador *Vernier*, tomando como referencia la zona de mayor diámetro de cada muestra. El procedimiento seguido esta descrito de forma detallada en el Apéndice A, dando como resultado un diámetro máximo de 47,33 mm.

Figura 6

Dimensiones Zona de Fritura



Nota: Las medidas están expresadas en metros.

Las dimensiones requeridas de la rebanada del plátano al final de proceso son: Una longitud máxima de 13 cm y un espesor de 4 mm. Con base en estos requerimientos del producto final, se definió el ángulo de inclinación que debe tener el ducto de alimentación que conducirá los plátanos hacia el disco de corte.

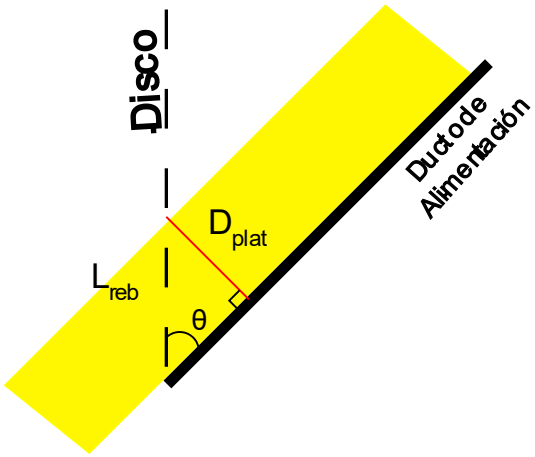
En la Figura 10, se muestra un esquema del ingreso del plátano hacia el disco de corte a través del ducto de alimentación, donde, L_{reb} representa la longitud de la rebanada y D_{plat} el diámetro del plátano determinado previamente, aplicando la ecuación 1, se obtuvo el siguiente resultado

$$\theta_{Tolva} = \sin^{-1}\frac{D_{plat}}{L_{reb}} \tag{1}$$

$$\theta_{Tolva} \approx 21°$$

Figura 7

*Esquema de Entrada del Plátano al Disco***.**



Con el ángulo hallado, se procedió a construir el banco experimental para la medición de la fuerza de corte. El procedimiento se detalla en el Apéndice B, obteniendo como resultado una fuerza de corte de,

$$F_{corte} = 65{,}07[N]$$

Por otro lado, el proceso de rebanado de forma manual tiene una duración aproximada de 2016 segundos a una velocidad promedio de 217 RPM, según lo descrito en el Apéndice C. Uno de los requerimientos del proceso es reducir el tiempo de rebanado a 10 minutos, por tanto, la velocidad a la que tiene que trabajar el disco para cumplir dicho requerimiento es de:

$$V_{disco} = \frac{2016\ [s] * 217\ [RPM]}{600\ [s]} \cong 729\ [RPM]$$

4.2 Subsistema de Rebanado

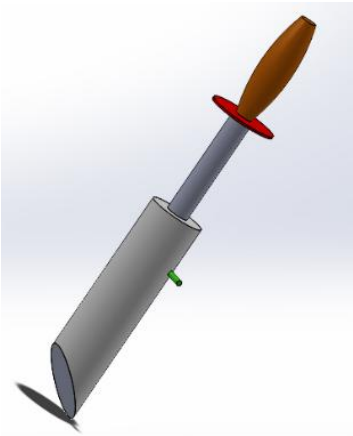
4.2.1 Ducto de Alimentación

Para el diseño del ducto de alimentación se consideró el diámetro del plátano hallado cómo su característica forma curvada, representativa de esta fruta. Con base en ello, se decidió emplear un tubo de 2,25 pulgadas de diámetro, con el fin de garantizar el ingreso del producto.

Con el objetivo de evitar que, en algunos casos, el plátano se atasque en el ducto de alimentación o genere impactos contra el disco no deseados que proporcionar un corte irregular en las rebanadas, se incorporó una herramienta tipo "*Pizón*", diseñada con un pasador sobresaliente que actúa como guía al momento de ingresarlo en el ducto de alimentación, impidiendo un contacto no deseado con el disco de corte (Figura 8). Este dispositivo, además de proporcionar la fuerza necesaria para asegurar el funcionamiento adecuado, contribuye a la prevención de lesiones que podrían presentarse si el empuje se realiza directamente con la mano.

Figura 8

Herramienta de Empuje "Pizón"



4.2.2 Disco

El proceso de diseño del disco se inició con la definición de las distancias límite (mínima y máxima) desde el centro, dentro de las cuales puede ubicarse la cuchilla para garantizar el rebanado deseado.

Una vez establecida la velocidad de giro en 729 rpm o 76,34 rad/s, se determinó la distancia radial en la que la velocidad tangencial es equivalente a la velocidad de corte manual actual, correspondiente a 2,241 m/s (Apéndice D). Para este cálculo se empleó la ecuación 2, donde V_t representa la velocidad tangencial, ω la velocidad angular del disco, y r_{min} la distancia radial; de esta expresión se despeja r, obteniéndose así la distancia mínima de corte.

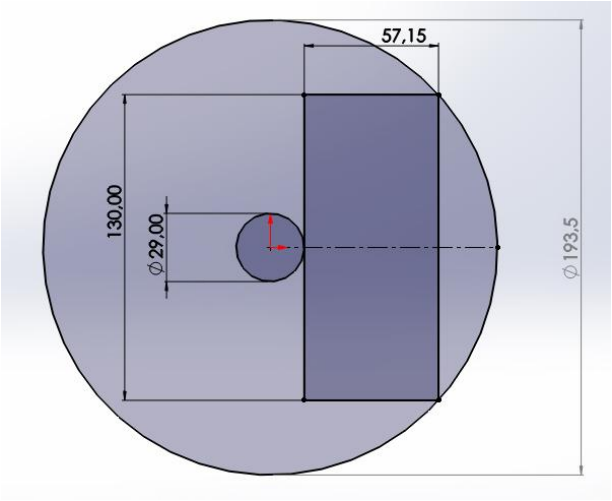
$$V_t = \omega * r_{min} \tag{2}$$

$$r_{min} \cong 0{,}029\ [m] = 2{,}9\ [cm]$$

Para determinar la distancia máxima, se trazó un rectángulo con el ancho correspondiente a la tolva y la longitud prevista para la rebanada a partir de la distancia mínima. Posteriormente, se dibujó un círculo que representara el recorrido del extremo más lejano de la cuchilla, manteniendo el rectángulo dentro de dicho trazo (Figura 9), obteniendo una distancia radial aproximada de 96,75 mm.

Figura 9

Distancia Radial Mínima al Extremos Más Lejano de la Cuchilla



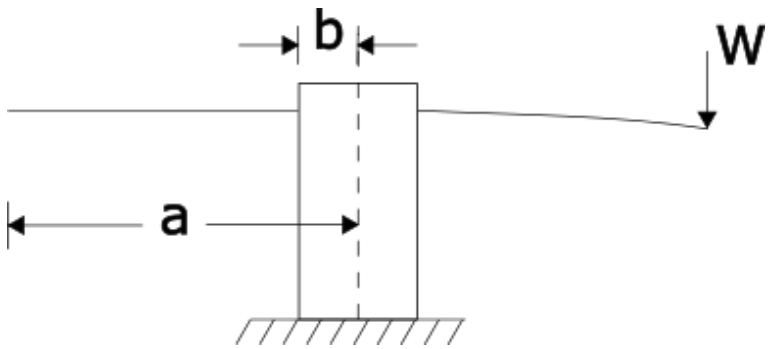
Sin embargo, considerando algunos aspectos cómo el diámetro del eje, el cubo del disco, entre otros factores, se estableció que dicho extremo debe ubicarse a una distancia radial de 150

mm, y a criterio de diseñador, se definió que el radio del disco sea de 170 mm, con el fin de evitar una falla debido a la concentración de esfuerzos en ese punto.

Para determinar el espesor del disco, se empleó la fórmula para placas circulares planas de espesor constante, aplicable cuando la carga se encuentra puntualmente en el borde exterior de una placa anular con el borde interior fijo, mencionadas por Young y Budynas (2002).

Figura 10

Placa Anular Plana de Espesor Constante.



Nota: Adaptado de *Roark's Formulas for Stress and Strain* (p. 495), por W.C. Young y R. G. Budynas, 2002, McGraw-Hill.

La ecuación 3, considera que *W* corresponde a la carga puntual ejercida sobre el disco determinada en el Apéndice E, con un valor de 100 N, *t* representa el espesor de la placa anular; $(\sigma_r)_{max}$ corresponde el esfuerzo máximo admisible del material del disco, en este caso es acero inoxidable AISI 304, cuyo valor se tomó de 215 Mpa; N es el factor de seguridad, establecido por el diseñador en un valor de 3 y β es una constante obtenida a partir de la Tabla 3, dependiente de la relación entre el radio del agujero interno "*b*" y la distancia radial al punto de aplicación de la fuerza "*a*".

$$\frac{(\sigma_r)_{max}}{N} = \beta \frac{W}{t^2} \tag{3}$$

Tabla 3

Definición de β

a / b	1,25	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00
β	3,665	4,223	5,216	6,904	8,358	9,667

Nota: Adaptado de *Roark's Formulas for Stress and Strain* (p. 495), por W.C. Young y R. G. Budynas, 2002, McGraw-Hill.

En este caso, el radio del agujero interno corresponde al diámetro del eje, que se asumió de 20 mm, y la distancia radial al punto de aplicación de la fuerza es de 150 mm. Con estos valores se recurre a la Tabla 3 y, mediante interpolación, se obtiene un coeficiente β de valor 8,67.

Al reemplazar los datos de la ecuación 3, se calculó el espesor de la placa en t = 3,479 mm. Finalmente, con el fin de facilitar la adquisición del material en el mercado, dicho espesor se aproximó al valor entero superior.

$$t_{disco} = 4\ [mm]$$

El diseño del cubo del disco se fundamentó en las recomendaciones de Rojas (1992), quien sugiere que la longitud del cubo debe estar comprendida entre 1,25 y 2,4 veces el diámetro del eje, mientras que el diámetro del cubo debe encontrarse en el rango de 1,6 a 1,8 veces de dicho diámetro. Con base a esto, se seleccionó un diámetro de 34 mm y una longitud de 25 mm para el cubo.

Tabla 4

Dimensiones del Disco de Corte

Descripción	Símbolo	Valor	Unid.
Diámetro externo del disco	D_{disco}	340	mm
Distancia del centro del disco al extremo mas lejano de la cuchilla	R_{cuchi}	150	mm
Diámetro del eje	D_{eje}	20	mm
Diámetro del cubo	D_{cubo}	34	mm
Espesor del disco	t	4	mm
Longitud del cubo	L_{cubo}	25	mm

4.2.3 Cuchilla

La cuchilla será fabricada en acero inoxidable al cromo, material aprobado por el INVIMA para contacto con alimentos. El diseño se planteó para garantizar un factor de seguridad igual o mayor a 2,5. En la Tabla 5 se presentan las variables iniciales y las ecuaciones aplicadas bajo el criterio de Goodman Modificado. La explicación detallada del procedimiento de diseño se encuentra en el Apéndice G.

Tabla 5

Ecuaciones y Variables de Entrada para el Diseño de la Cuchilla

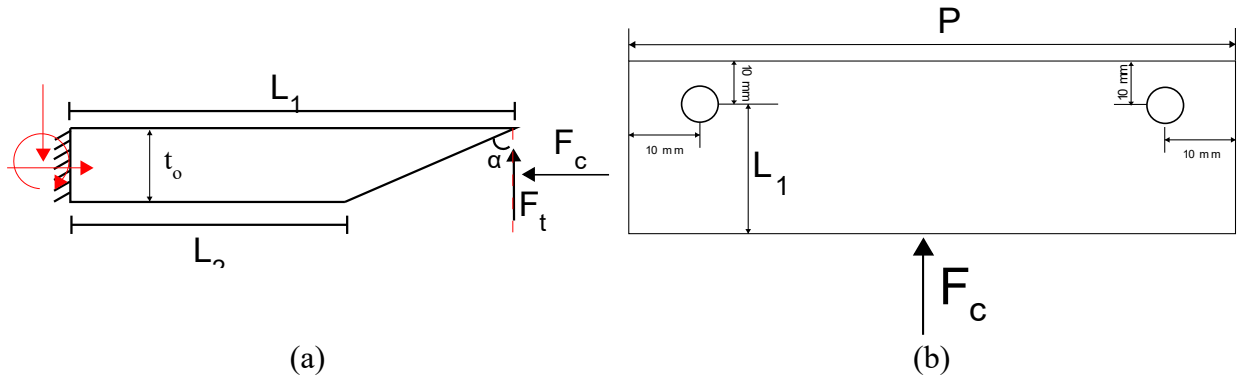
ECUACIONES CUCHILLA	
$\beta = \tan\mu$	$\tau_{Min} = 0$
$\varphi = 45° + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2}$	$\sigma_{Max} = \sigma_a + \sigma_M$
$t_o = \frac{t_c \sin\varphi}{\cos(\varphi - \alpha)}$	$\sigma_{Mín} = 0$
$F_t = F_c \tan(\beta - \alpha)$	$\sigma_m = \frac{\sigma_{Max} + \sigma_{Min}}{2}$ $\quad \tau_m = \frac{\tau_{Max} + \tau_{Min}}{2}$
$R_x = F_c$	$\sigma_a = \left\lvert\frac{\sigma_{Max} - \sigma_{Min}}{2}\right\rvert$ $\quad \tau_a = \left\lvert\frac{\tau_{Max} - \tau_{Min}}{2}\right\rvert$
$R_y = F_t$	$S'_e = 0{,}5 S_{u_{AIC}}$
$M_R = F_t * L_1$	$S_e = S'_e * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e$
$\sigma_a = \frac{F_a}{A}$	$\sigma'_a = \sqrt{(k_f * \sigma_a)^2 + 3\tau_a^2}$
$\sigma_M = \frac{M * e}{2 * I}$	$\sigma'_m = \sqrt{(k_f * \sigma_m)^2 + 3\tau_m^2}$
$\tau_v = \frac{3V}{2A}$	$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{u_{AIC}}} = \frac{1}{n}$
$\tau_{Max} = \tau_v$	
$k_f = 1 + q(k_t - 1)$	

VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
t_c	4	mm	Espesor de la rebanada
F_c	65,07	N	Fuerza de corte
μ	0,583		Coeficiente de fricción
α	74	°	Angulo de ataque
P	110	mm	Ancho de la cuchilla
L_1	35	mm	Longitud del filo al centro del orificio
$S_{y_{AIC}}$	170	MPa	Resistencia a la fluencia Acero Inox. al cromo
$S_{u_{AIC}}$	413	MPa	Resistencia ultima Acero Inox. al cromo
q	0,8103	-	Sensibilidad a la entalladura flectora
k_t	2,15	-	Factor de concentración de tensiones flectoras
K_a	0,914	-	Factor de superficie
K_b	1,04	-	Factor de tamaño
K_c	0,85	-	Factor por carga
K_d	1	-	Factor por temperatura
K_e	0,753	-	Factor por confiabilidad

En la Figura 11 se muestran las dimensiones y el diagrama de cuerpo libre (DCL) de la cuchilla. Para el análisis de fuerzas se consideró como sección empotrada el punto medio del orificio donde estará el tronillo de sujeción. A partir de este planteamiento se determinaron las reacciones y se elaboraron los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector.

Figura 11

Dimensiones y Fuerzas sobre la Cuchilla



Nota. a) Diagrama de Cuerpo libre de la cuchilla b) Dimensiones vista superior de la cuchilla.

Figura 12

Diagrama de Fuerza Axial de la Cuchilla

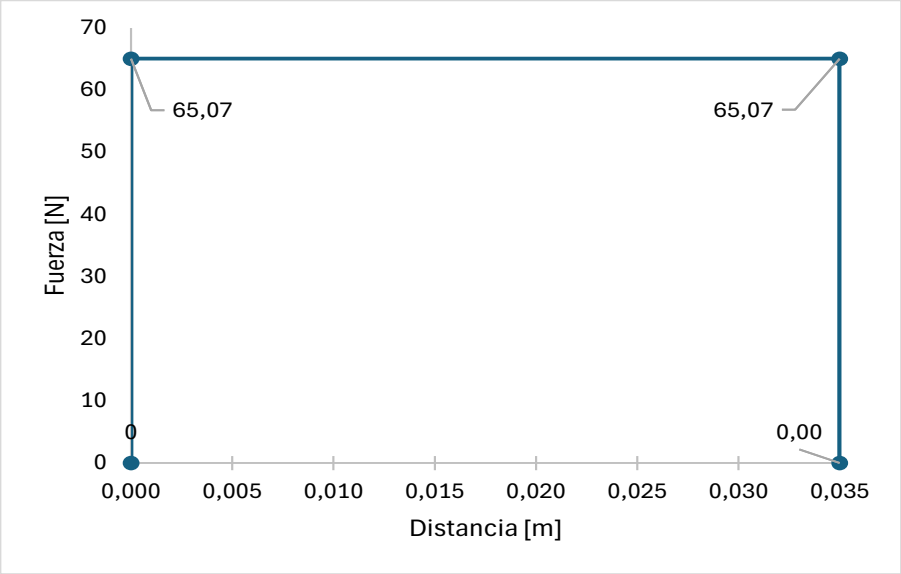


Figura 13

Diagrama de Fuerza Cortante de la Cuchilla

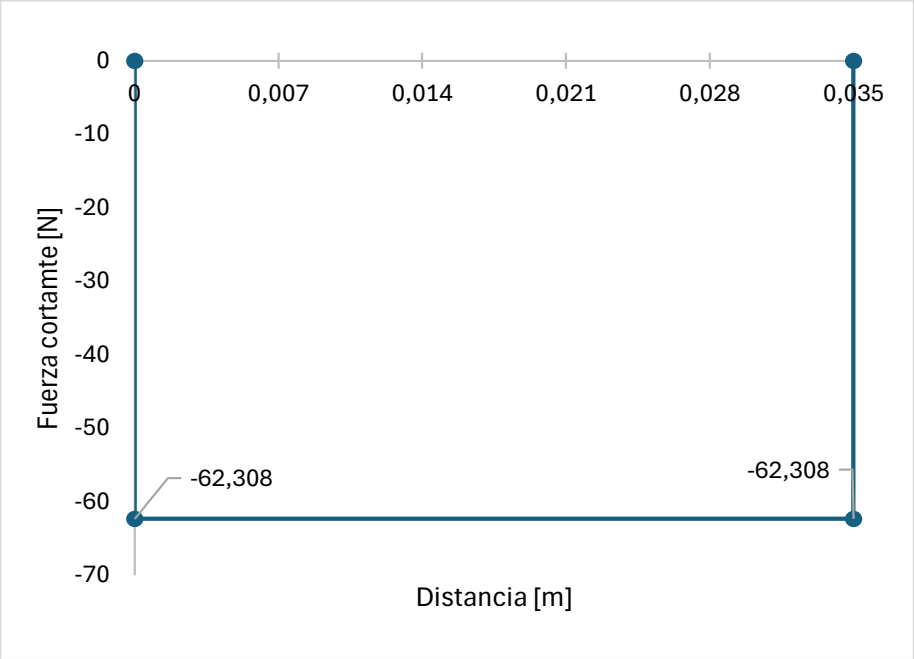
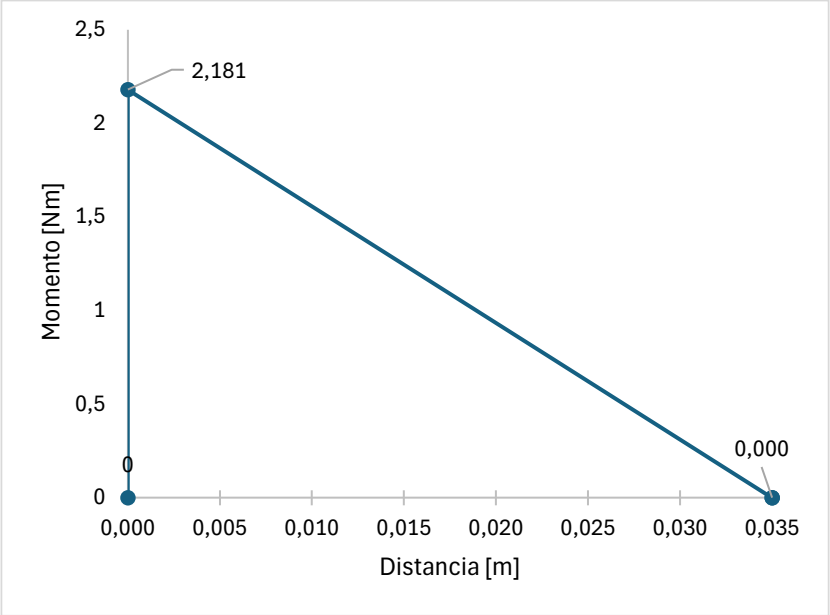


Figura 14

Diagrama de Momento Flector de la Cuchilla



Se decidió realizar el análisis de fatiga a 33,7 mm de la unión empotrada. En este punto se calcularon los factores de concentración y el factor de seguridad mediante el criterio planteado inicialmente, obteniéndose un valor de 2,959; valor superior al mínimo establecido.

Tabla 6

Variables de Salida del Punto Crítico de la Cuchilla

VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
β	30,24	°	Angulo de fricción
φ	66,879	°	Angulo de cizallamiento
t_o	3,707	mm	Espesor de la cuchilla
F_t	62,308	N	Fuerza de empuje
R_x	65,07	N	Reacción X
R_y	-62,308	N	Reacción Y
M_R	2,181	Nm	Momento resultante
I	4,67E-13	m^4	Momento de inercia
e	0,37	mm	Alto sección transversal
σ_a	1595,621	kPa	Esfuerzo axial
τ_v	-2291,838	kPa	Esfuerzo cortante

VARIABLES DE SALIDA (Continuación)			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
σ_M	31,97	MPa	Esfuerzo flector
k_f	1,932	-	Concentrador de esfuerzo flector a la fatiga
τ_{Max}	0	Pa	Esfuerzo cortante máximo
τ_{Min}	-2291,838	kPa	Esfuerzo cortante mínimo
σ_{Max}	33,566	MPa	Esfuerzo normal máximo
σ_{Min}	0	Pa	Esfuerzo normal mínimo
σ_m	16,783	MPa	Esfuerzo flector medio
σ_a	16,783	MPa	Esfuerzo flector alternante
τ_m	-1145,919	kPa	Esfuerzo cortante medio
τ_a	1145,919	kPa	Esfuerzo cortante alternante
S'_e	206,5	MPa	Limite de endurancia
S_e	125,676	MPa	Límite de endurancia modificado
$\boldsymbol{n}$	2,959	-	**Factor de seguridad**

4.3 Subsistema Transmisión de Potencia

4.3.1 Motor

Para el cálculo de la potencia del motor resulta indispensable determinar la potencia de salida requerida para realizar el corte del plátano, lo que implica conocer el torque necesario para contrarrestar la fuerza ejercida durante el contacto con la cuchilla.

Para ello se consideró el punto de mayor torque, correspondiente al extremo más lejano de la cuchilla respecto al centro del disco, a una distancia de 15 cm. A partir de este criterio y de la ecuación 4, se calculó el torque máximo de corte T_{max} obteniendo como resultado:

$$T_{max} = F_{corte} * R_{disco} \tag{4}$$

$$T_{max} = 65{,}07\ [N] * 0{,}15[m]$$

$$T_{max} = 9{,}76\ [Nm]$$

Determinado el torque, en la Figura 15 se presenta el esquema del subsistema de transmisión de potencia de la máquina. En este caso se observa que la potencia generada por el motor se trasmite únicamente al disco por medio de la transmisión por poleas; por tanto, la misma

potencia requerida para efectuar el proceso es la que debe suministrar el motor. Dicho valor se determina mediante la ecuación 5, obteniéndose como resultado:

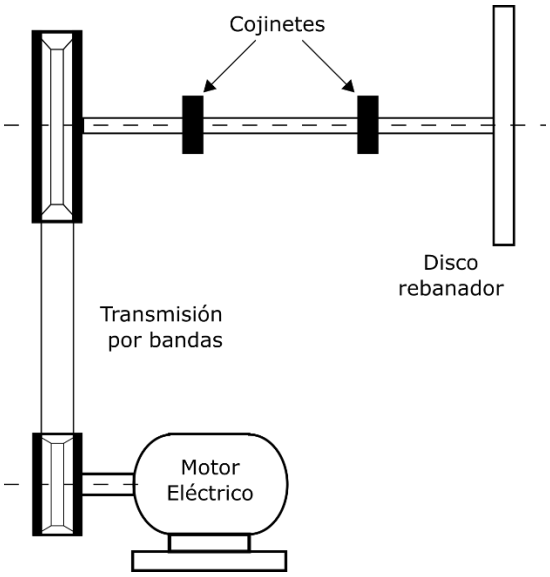
$$Pot_{motor} = \frac{T_{max} * \omega_{disco}}{9550} \tag{5}$$

$$Pot_{motor} = \frac{9{,}76\ [Nm] * 729[rpm]}{9550}$$

$$Pot_{motor} = 0{,}745\ [kW] \cong 1\ [hp]$$

Figura 15

Subsistema de Transmisión de Potencia de la Maquina Rebanadora



Con base al valor obtenido, se seleccionó un motor monofásico de corriente alterna (AC), que trabaja a una frecuencia de 60 Hz y una configuración de 4 polos que, a plena carga, entrega una velocidad nominal de aproximadamente 1700 RPM.

4.3.2 Transmisión por Correas

La máquina será alimentada mediante una transmisión por correa, la cual fue seleccionada bajo disponibilidad en el mercado y de la relación de velocidad necesaria para cumplir los

requerimientos establecidos por el cliente. Se optó por este método de transmisión debido a su simplicidad, bajo costo, fácil mantenimiento y amplia disponibilidad de repuestos, lo que lo convierte en una alternativa ideal para este caso sobre otros métodos tales, como la transmisión por cadena o engranajes.

Los procedimientos para calcular el número de correas necesarias y las fuerzas de reacción que ejercerá la polea conducida son mencionados en el apéndice H, donde se determinaron las características y los valores mostrados en la Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 7

Selección de Correa y Polea

ECUACIONES SELECCION DE CORREA Y POLEA

$$i = \frac{\omega_{mot}}{\omega_{disc}} \qquad \theta = \sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \qquad H_a = H_{tab} * K_1 * K_2$$

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d$$

$$D = i * d \qquad V = \frac{\omega_{mot} . * d * \pi}{12} \qquad N_b \geq \frac{H_a}{H_d};\ N_b \in +Z$$

$$C = 0.25\left\{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(D+d)\right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(D+d)\right]^2 - 2(D-d)^2}\right\}$$

VARIABLES DE ENTRADA

Parámetro	Magnitud	Unidad	Descripción
H_{nom}	1	hp	Potencia nominal del motor
ω_{mot}	1700	rpm	Velocidad del motor
ω_{disc}	729	rpm	Velocidad del disco
d	6	in	Diámetro de polea conductora
	A	-	Tipo de correa
L_p	81,3	in	Longitud de paso correa
H_{tab}	2,44	hp	Potencia nominal por correa
K_1	0,793	-	Factor de corrección de Angulo de contacto
K_2	1,05	-	Factor de corrección de longitud
K_s	1,3	-	Factor de servicio
n_d	1,3	-	Factor de diseño

VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
i	2,33	-	Relación de velocidades
D	14	in	Diámetro de polea conducida
C	24,617	in	Distancia entre centros
θ	9,35	°	Angulo de la correa
V	2670,35	ft/min	Velocidad de la correa
H_a	2,03	hp	Potencia permitida por correa
H_d	1,69	hp	Potencia de diseño
N_b	1	-	Numero de correas

Tabla 8

Fuerzas Sobre la Polea Conducida

ECUACIONES FUERZAS SOBRE LA POLEA

$$T_m = \frac{63000 * H_{nom}}{\omega_{mot}}$$

$$F_{1sp} - F_{2sp} = \frac{2 * T_m}{d}$$

$$F_{1sp} = 5 * F_{2sp}$$

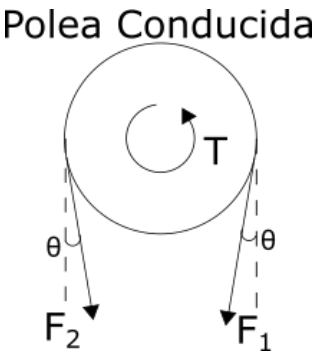
$$F_p = \frac{F_{1sp} + F_{2sp}}{2}$$

$$F_1 = F_{1sp} + F_p$$

$$F_2 = F_{2sp} + F_p$$

$$R_z = (F_1 - F_2)\,\text{sen}\,\theta$$

$$R_y = (F_1 + F_2)\cos\theta + w_{polea}$$



VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
w_{polea}	15,51	N	Peso de polea conducida
d	6	in	Diámetro de polea conductora
H_{nom}	1	hp	Potencia nominal del motor
ω_{mot}	1700	rpm	Velocidad nominal del motor
θ	9,35	°	Angulo de la correa

VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
T_m	37,06	Lb-in	Torque del motor
F_{1sp}	15,44	Lb	Fuerza 1 sin pretensión
	68,685	N	
F_{2sp}	3,09	Lb	Fuerza 2 sin pretensión
	13,737	N	
F_P	41,211	N	Fuerza de pretensión
F_1	109,897	N	Fuerza 1 con pretensión
F_2	54,948	N	Fuerza 2 con pretensión
R_y	178,16	N↓	Reacción sobre el eje en dirección Y
R_z	8,93	N←	Reacción sobre el eje en dirección Z
T	9,76	Nm	Torque sobre el eje

4.3.3 Eje

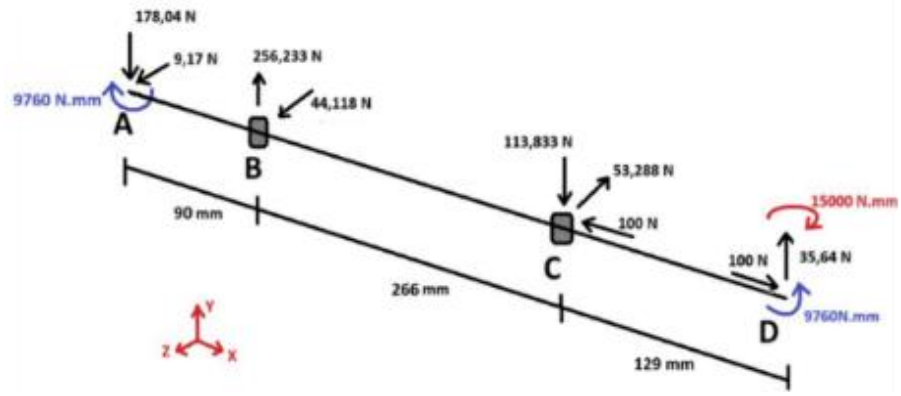
El eje principal debe resistir el peso de la polea conducida y el disco de corte, además de soportar las cargas externas que sean aplicadas sobre estos elementos y cumplir con un factor de seguridad mayor o igual a 2,5. Siguiendo la normativa de INVIMA, será fabricado en acero AISI 304, material ampliamente utilizado en la industria alimentaria por su alta resistencia a la corrosión y oxidación, así como por su tenacidad y resistencia a la fatiga.

Considerando los aspectos mencionados, en la Tabla 9 se presentan los cálculos y los datos de entrada necesarios para abarcar el diseño por medio del criterio de falla de Soderberg. El procedimiento de diseño llevado a cabo se detalla en el Apéndice I, donde el diseño final del eje se muestra en la Figura 16.

Tabla 9

Ecuaciones y Variables de Entrada del Diseño del Eje Principal

CALCULOS EJE PRINCIPAL



$$A_y(90) - R_{y_C}(266) + D_y(266 + 129) = 0$$

$$A_z(90) + R_{z_c}(266) - M_{y_D} = 0$$

$$-R_{x_c} + D_x = 0$$

$$-A_y + R_{y_B} - R_{y_c} + D_y = 0$$

$$A_z + R_{z\,B} - R_{z_C} = 0$$

$$R_{x_3} = R_{x_C}$$

$$T_3 = T_A$$

$$M_{y_3} = M_{y_D}$$

$$M_{z_3} = \frac{M_{z_C}(85)}{129}$$

$$M_{R_3} = \sqrt{M_{y_3}^2 + M_{z_3}^2}$$

$$\frac{r}{d}; \frac{D}{d}$$

$$M_{Max_3} = M_{R_3}$$

$$M_{Min_3} = -M_{R_3}$$

$$M_{m_3} = \frac{M_{Max_3} + M_{Min_3}}{2}$$

$$M_{a_3} = \frac{M_{Max_3} - M_{Min_3}}{2}$$

$$T_{a_3} = 0$$

$$T_{m_3} = T_3$$

$$\sigma_{axial_3} = \frac{4R_{x_3}}{\pi d^2}$$

$$\tau_3 = \frac{16T_3}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{flector_3} = \frac{32M_{R_3}}{\pi d^3}$$

$$k_{f_3} = 1 + q_3(k_{t_3} - 1)$$

$$k_{fs_3} = 1 + q_{s3}(k_{ts_3} - 1)$$

$$\sigma_{Max_3} = \sigma_{flector_3} + \sigma_{axial_3}$$

$$\sigma_{Min_3} = -\sigma_{flector_3} + \sigma_{axial_3}$$

$$\sigma_{m_3} = \frac{\sigma_{Max_3} + \sigma_{Min_3}}{2}$$

$$\sigma_{a_3} = \frac{\sigma_{Max_3} - \sigma_{Min_3}}{2}$$

$$\tau_{m_3} = \tau_3$$

$$\tau_{a_3} = 0$$

$$S'_e = 0{,}5S_{u_{304}}$$

$$K_d = 1{,}189d^{-0{,}112}$$

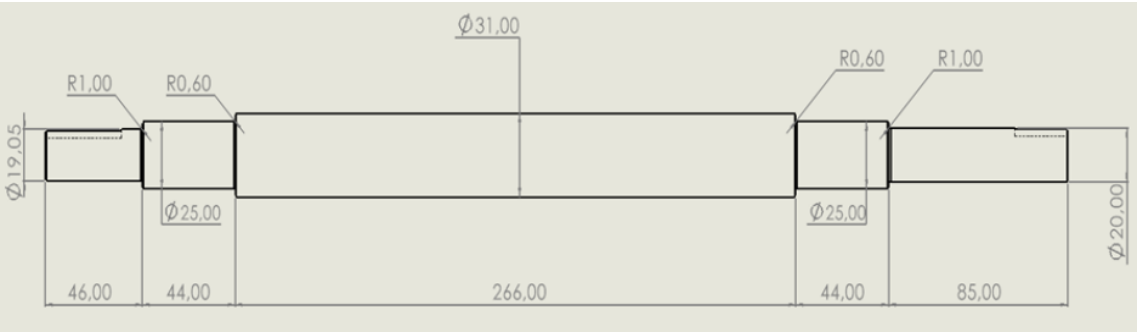
$$S_{e_3} = S'_e * K_l * K_s * K_d * K_T * K_c * K_m$$

$$\frac{1}{N_3} = \left[\left(\frac{\sigma_{m_3}}{S_{y_{304}}} + K_{f_3}\frac{\sigma_{a_3}}{S_{e_3}}\right)^2 + 4\left(\frac{\tau_{m_3}}{S_{y_{304}}} + K_{fs_3}\frac{\tau_{a_3}}{S_{e_3}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
A_y	178,04	N	Reacción Y Polea conducida
A_z	9,17	N	Reacción Z Polea conducida
T_A	9760	N.mm	Torque de entrada Polea conducida
R_{y_B}	255,563	N	Reacción Y Rodamiento B
R_{z_B}	44,118	N	Reacción Z Rodamiento B
R_{x_C}	100	N	Reacción X Rodamiento C
R_{y_C}	113,163	N	Reacción Y Rodamiento C
R_{z_C}	53,288	N	Reacción Z Rodamiento C
M_{z_C}	4597,56	N.mm	Momento Z Rodamiento C
D_x	100	N	Reacción X Disco de corte
D_y	35,64	N	Reacción Y Disco de corte
T_D	9760	N.mm	Torque de salida Disco de corte
M_{y_D}	15000	N.mm	Momento Y Disco de corte
$S_{y_{304}}$	215	MPa	Resistencia a la fluencia del acero AISI 304
$S_{u_{304}}$	505	MPa	Resistencia última del acero AISI 304
r	0,1	mm	Radio de redondeo en el hombro eje
d	20	mm	Diámetro del eje para el disco de corte
D	25	mm	Diámetro del eje para el rodamiento C
q_3	0,62	-	Sensibilidad a la entalladura flectora
q_{s3}	0,67	-	Sensibilidad a la entalladura torsora
k_{t3}	2,05	-	Factor de concentración de tensiones flectoras
k_{ts3}	1,57	-	Factor de concentración de tensiones torsoras
K_l	0,75	-	Factor de carga
K_s	0,87	-	Factor de acabado superficial
K_d	0,85	-	Factor de tamaño
K_T	1	-	Factor de temperatura
K_c	0,702	-	Factor de confiabilidad
K_m	1	-	Factor misceláneo

Figura 16

Diseño Final del Eje Principal



Inicialmente, se efectuó el análisis estático correspondiente a los planos XY y XZ con el fin de obtener las reacciones generadas por los rodamientos. Posteriormente, se elaboraron los diagramas de fuerza axial, torque, fuerza cortante y momento flector en cada uno con el fin de identificar los puntos de falla y aplicar el criterio de Soderberg.

Figura 17

Diagrama de Fuerza Axial en el Eje Principal

Figura 18

Diagrama de Torque en el Eje Principal

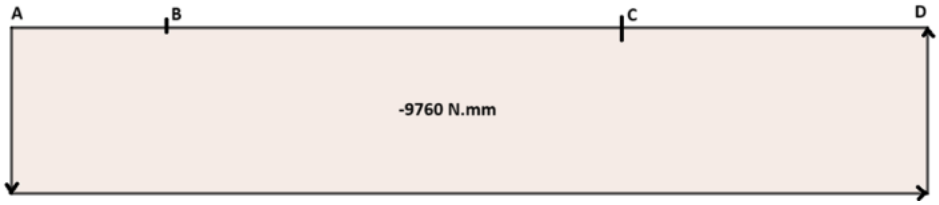
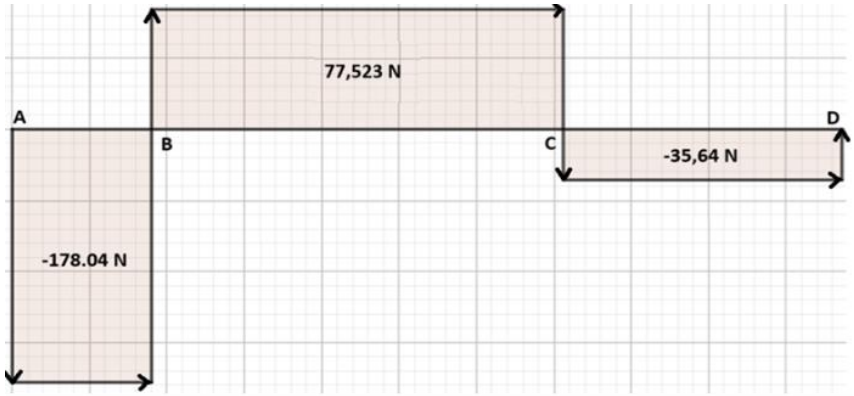


Figura 19

Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el Eje Principal para el Plano XY



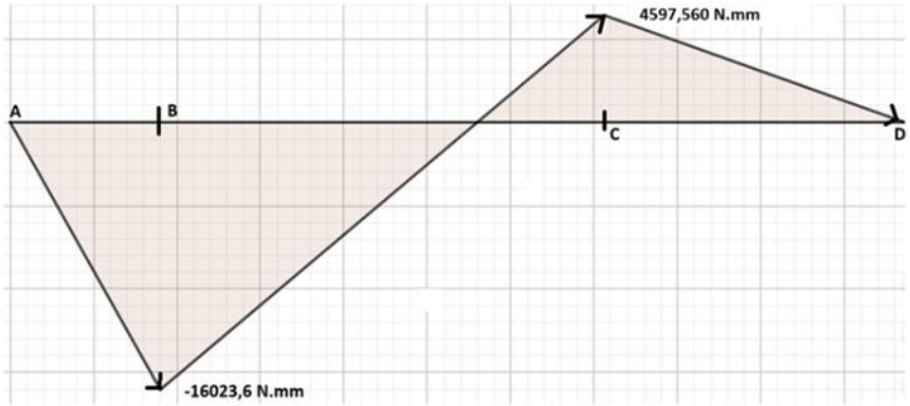
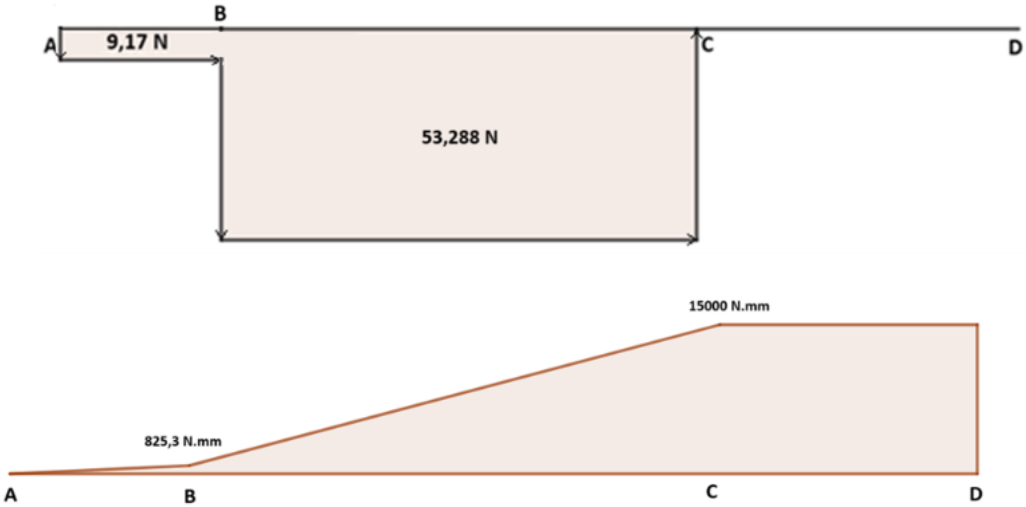


Figura 20

Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector en el Eje Principal para el Plano XZ



Una vez realizado el análisis estático, se calcularon de factores de concentración en los puntos críticos, así como el factor de seguridad mediante el criterio de Soderberg. Con este procedimiento y los valores calculados mostrados en la Tabla 10, se obtuvo un factor de seguridad de 2,89 para el punto de falla 3, evidenciando que el diseño del eje cumple con el requisito establecido, al superar el valor mínimo propuesto.

Tabla 10

Variables de Salida del Eje Principal en el Punto Crítico 3

VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
R_{x_3}	100	N	Reacción X
T_3	9760	N.mm	Torque
M_{y_3}	2993,76	N.mm	Momento Y
M_{R_3}	15295,836	N.mm	Momento resultante
M_{Max_3}	15295,836	N.mm	Momento máximo
M_{Min_3}	-15295,836	N.mm	Momento mínimo
M_{m_3}	0	N.mm	Momento medio
M_{a_3}	15295,836	N.mm	Momento alternante
T_{m_3}	9760	N.mm	Torque medio
T_{a_3}	0	N.mm	Torque alternante
σ_{axial_3}	0,351	MPa	Esfuerzo axial
τ_3	7,19	MPa	Esfuerzo cortante
$\sigma_{flector_3}$	19,475	MPa	Esfuerzo flector
k_{f_3}	1,704	-	Concentrador de esfuerzo flector a la fatiga
k_{fs_3}	1,382	-	Concentrador de esfuerzo torsor a la fatiga
σ_{Max_3}	19,826	MPa	Esfuerzo flector máximo
σ_{Min_3}	-19,124	MPa	Esfuerzo flector mínimo
σ_{m_3}	0,351	MPa	Esfuerzo flector medio
σ_{a_3}	19,475	MPa	Esfuerzo flector alternante
τ_{m_3}	7,190	MPa	Esfuerzo cortante medio
τ_{a_3}	0	MPa	Esfuerzo cortante alternante
S'_e	252,5	MPa	Límite de endurancia
S_{e_3}	98,321	MPa	Límite de endurancia modificado
$\boldsymbol{N_3}$	**2,89**	**-**	**Factor de seguridad**

4.3.4 Selección de Rodamientos

Para este caso, se seleccionó el rodamiento *W 6205-2Z* de la marca SKF, cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 11. El procedimiento de selección, los cálculos y la vida esperada del rodamiento, se encuentran detallados en el Apéndice k.

Tabla 11

Especificaciones Rodamiento SKF

Tipo de rodamiento	d $[mm]$	D $[mm]$	b $[mm]$	C $[kN]$	C_0 $[kN]$	P_u $[kN]$	v_{Ref} $[RPM]$	v_{Lim} $[RPM]$	k_r	f_0
W 6205-2Z	25	52	15	11,7	7,65	0,335	30000	15000	0,03	13,8

Los valores de entrada y cálculos realizados se muestran en la Tabla 12, los cuales nos indican si el rodamiento escogido cumple a cabalidad con los requerimientos.

Tabla 12

Ecuaciones y Variable de Entrada Selección de Rodamientos

CALCULOS SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	
$d_m = 0{,}5 * (d + D)$	$k = \frac{v}{v_1}$
$Factor_{e.X.Y} \rightarrow \frac{f_0 F_a}{C_0}$	$Factor_{a_{SKF}} \rightarrow \frac{\eta_C P_u}{P}$
$y_x = y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}(y_1 - y_0)$	$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h}$
$P = X * F_r + Y * F_a$	$F_{rm} = k_r * \left(\frac{v_{RPM}}{1000}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{d_m}{100}\right)^2$
$L_{10_h} = \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) * \left(\frac{C}{P}\right)^n$	$F_{a_{Max}} = 0{,}25 C_0$

VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
d	25	N	Diámetro del agujero
D	52	N	Diámetro externo
F_a	0,1	kN	Fuerza axial
F_r	0,1251	kN	Fuerza radial resultante
RPM	729	RPM	Velocidad de giro
C	11,7	kN	Capacidad de carga dinámica básica
C_0	7,65	kN	Capacidad de carga estática básica
P_u	0,335	kN	Carga límite de fatiga
v_{Ref}	30000	RPM	Velocidad de referencia
v_{Lim}	15000	RPM	Velocidad límite
k_r	0,03	-	Factor de carga mínima
f_0	13,8	-	Factor de cálculo

VARIABLES DE ENTRADA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
n	3	-	Exponente de la ecuación L_{10h}
v	46	mm^2/s	Viscosidad real de funcionamiento del aceite
v_1	30	mm^2/s	Viscosidad nominal
η_C	0,6	-	Factor de contaminación

Finalmente, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13, donde la vida nominal básica para el rodamiento W 6205-2Z es de 1'376.028,98 horas, siendo superior a las horas requeridas.

Tabla 13

Variable de Salida del Rodamiento

VARIABLES DE SALIDA			
Parámetro	**Magnitud**	**Unidad**	**Descripción**
d_m	38,5	mm	Diámetro medio del rodamiento
$Factor_{e.X.Y}$	0,18	-	Factor de cálculo para rodamientos rígidos de bolas
e	0,1914	-	
X	0,56	-	
Y	2,285	-	
P	0,29855	kN	Carga dinámica equivalente del rodamiento
L_{10_h}	1'376.028,98	h	Vida nominal básica con confiabilidad 90%
k	1,44	-	Condición de lubricación
$Factor_{a_{SKF}}$	0,67	-	Factor de rodamientos de diseño básico
a_{SKF}	50	-	Factor de modificación de vida útil
$L_{10_{mh}}$	68'801.400	h	Vida nominal SKF
F_{rm}	0,0462	kN	Carga mínima
$F_{a_{Max}}$	1,9125	kN	Capacidad de carga axial

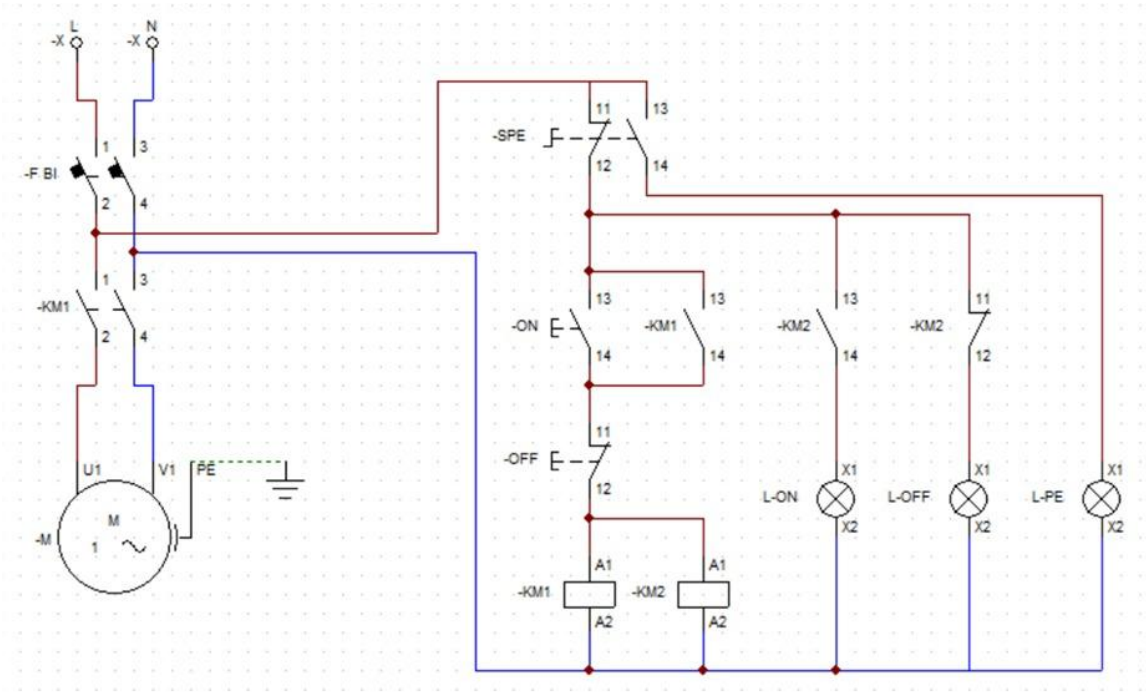
4.4 Subsistema de Potencia y Control

El diseño del cableado eléctrico se llevó a cabo mediante el uso de la herramienta CADeSimu, lo que permitió organizar de manera estructurada la distribución de componentes eléctricos, cable conductor y protección eléctrica. Esta herramienta de simulación facilitó la verificación previa del cableado eléctrico, garantizando el correcto funcionamiento de la máquina

y corrigiendo posibles fallas antes de la implementación física. El plano eléctrico se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Plano Eléctrico de la Rebanadora de Plátano



Los componentes eléctricos se seleccionaron bajo las especificaciones eléctricas del motor. Con ello, deben ser seleccionados para una tensión de 110 voltios en corriente alterna y soportar una corriente de 10,5 amperios. Bajo estas especificaciones mencionadas, los componentes seleccionados se muestran en la Tabla 14 y el diseño CAD se plasma en la Figura 22.

Tabla 14

Componentes Eléctricos

COMPONENTES ELÉCTRICOS		
Componente	**Especificación**	**Descripción**
Breaker Bipolar	110V/15A	Marca CHINT
Luz piloto Luz piloto Luz piloto	110V	Color verde Color rojo Color naranja
Pulsador NA Pulsador NC	110 V	Pulsador On Pulsador Off
Pulsador de emergencia	Tipo hongo con enclavamiento NO-NC	Marca CHINT
Caja protectora	20x20x12 cm	
Contactor	110 V/18 A	Marca CHINT
Relé	11 Pines 110 V/10 A	Marca CHINT
Cable 14 Cable 14 Cable 14	20 A/90° C/ 7 Hilos	Color rojo Color negro Color verde

Figura 22

Esquema CAD Caja Eléctrica

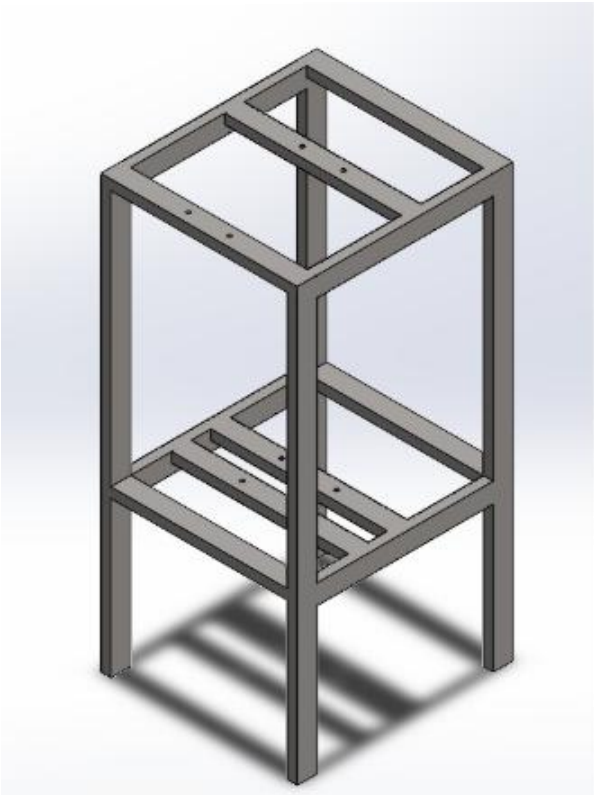
4.5 Subsistema Estructural

El bastidor es la estructura base que soporta todos los subsistemas de la máquina, brinda rigidez y estabilidad, y resiste los esfuerzos durante su funcionamiento. El material seleccionado

para su diseño corresponde al acero AISI 304 y se utilizará una tubería rectangular de 2x1 pulgadas y 1,5 mm de espesor. Para las medidas que tendrá el bastidor, se tomó en cuenta la altura de la paila de aceite, el diámetro de la polea conducida y el disco, y la longitud del eje principal, dando como resultado al diseño final del bastidor evidenciado en la Figura 23.

Figura 23

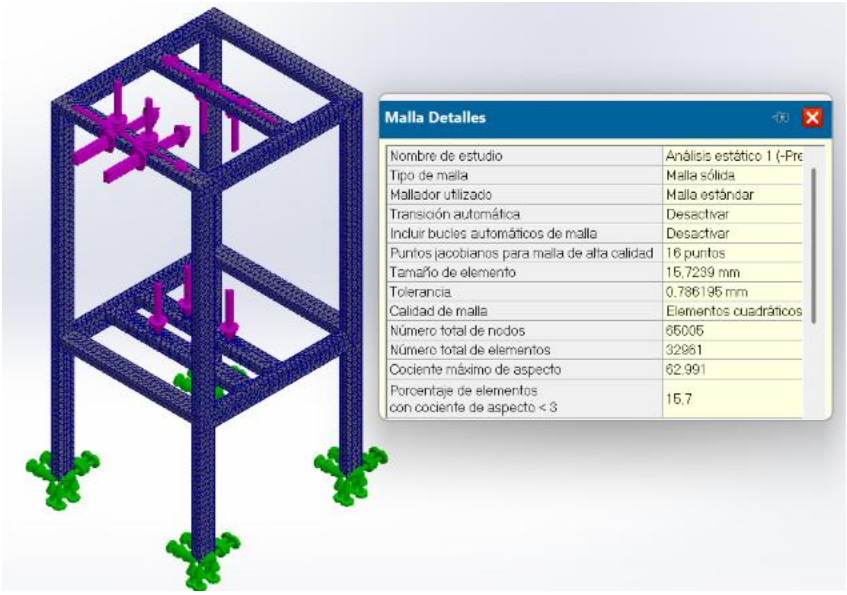
Diseño del Bastidor



Asimismo, se realizó la simulación bajo cargas para obtener el factor de seguridad que proporciona el bastidor. Con ello, se creó un mallado fino con tamaño de 15,724 mm, con un total de 32.961 elementos y 65.005 nodos.

Figura 24

Mallado y Aplicación de Fuerzas sobre el Bastidor



Una vez ejecutada la simulación, nos permitió obtener los valores generados en un análisis de tensión por Von Mises y un análisis de deformación, donde se obtuvo un valor máximo de 58,495 MPa y 0,161 mm.

Figura 25

Análisis de Tensiones

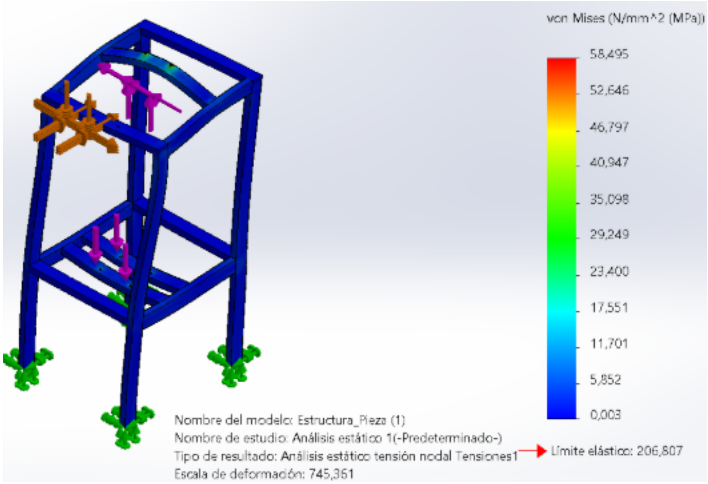
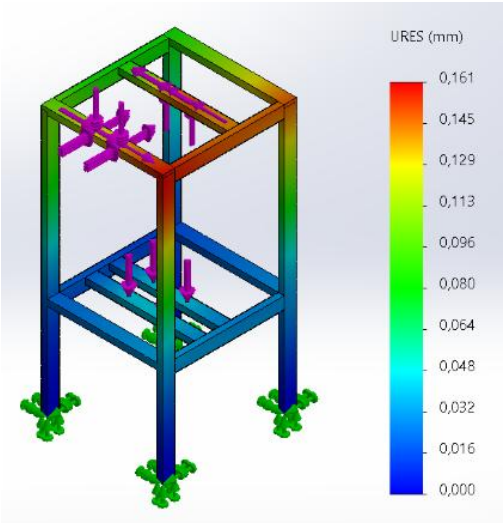


Figura 26

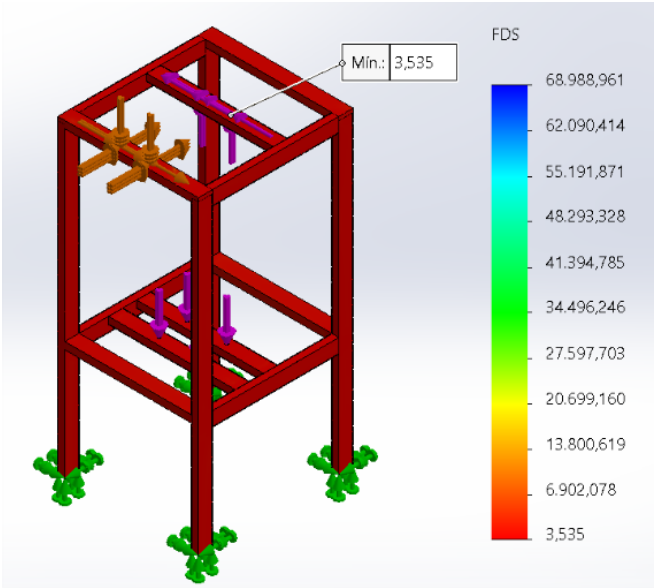
Análisis de Deformaciones



Finalmente, se obtuvo el análisis del factor de seguridad del bastidor, el cual ubica la sección critica en el rodamiento del punto B y proporciona un valor mínimo en su punto crítico de 3,5.

Figura 27

Análisis de Factor de Seguridad del Bastidor



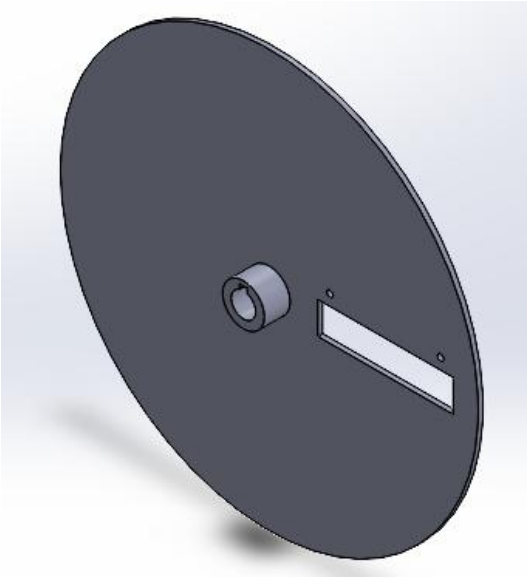
5. Análisis Estático por Software CAD

5.1 Análisis del Disco de Corte

Para verificar la veracidad de los cálculos obtenidos en el diseño del disco de corte, se realizó una simulación por análisis estático en SolidWorks, donde se comparó los resultados obtenidos en los cálculos teóricos. Para ellos se consideró las reacciones de los tornillos, la fuerza de empuje axial y el torque conducido, con el fin de obtener los esfuerzos generados, las posibles deformaciones y el factor de seguridad que proporciona el disco.

Figura 28

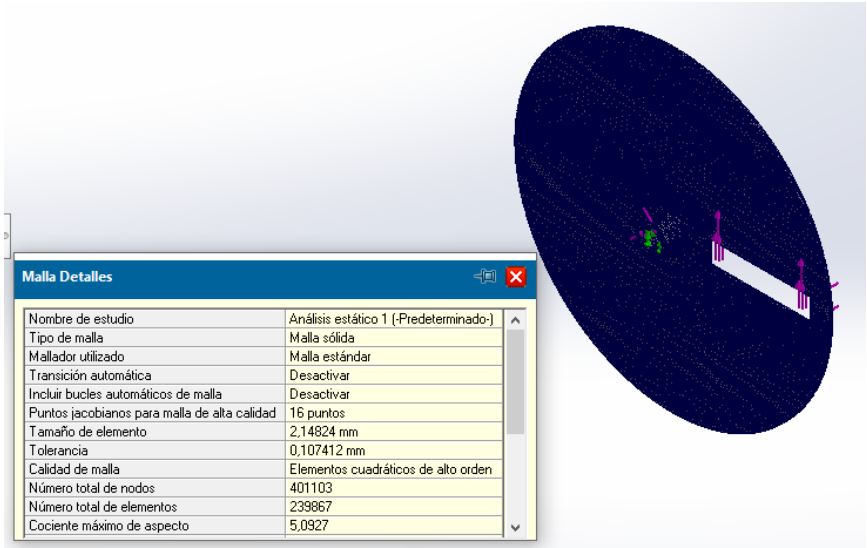
Vista Isométrica del Disco



Para el desarrollo del análisis, se realizó un mallad con un tamaño de 2,148 mm, un total de 239.867 elementos y de 401.103 Nodos.

Figura 29

Mallado y Aplicación de Fuerzas en el Disco



La simulación permitió identificar los puntos críticos del diseño mediante el análisis de tensiones (Figura 30) y los desplazamientos (Figura 31), obteniéndose un valor máximo de tensión de 58,2 Mpa y un desplazamiento de 0,655 mm.

Figura 30

Resultado Análisis de Tensiones en el Disco

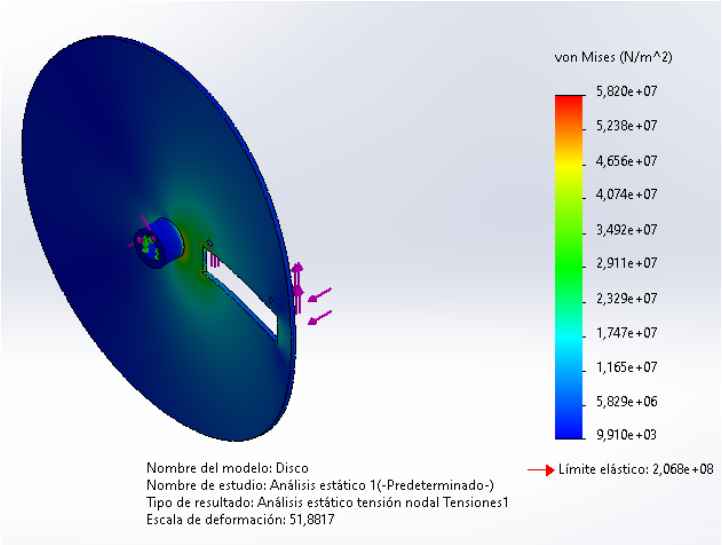
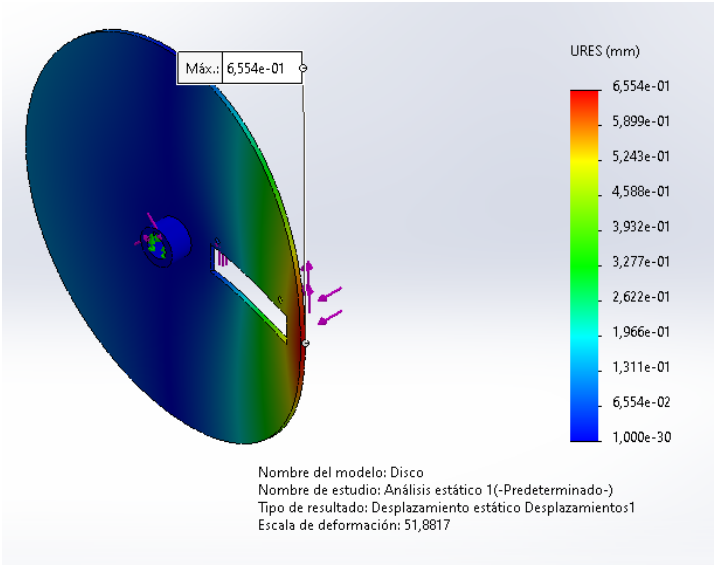


Figura 31

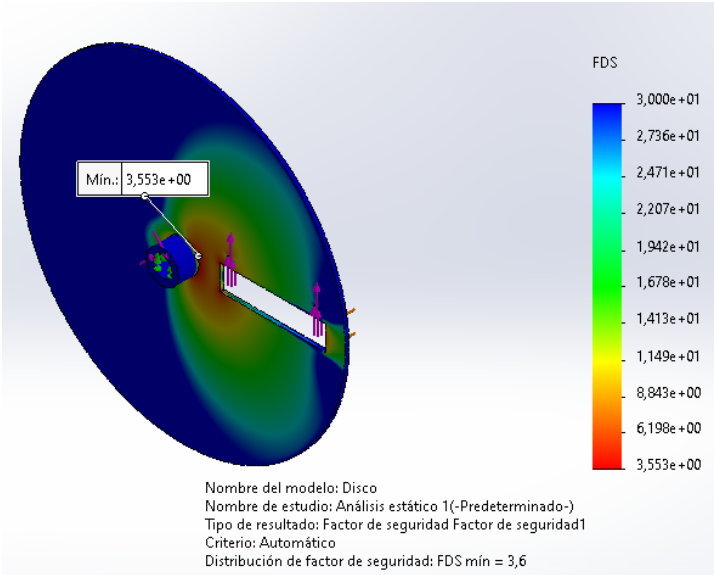
Resultado Análisis de Desplazamiento del Disco



Finalmente se obtuvo el análisis del factor de seguridad del diseño (Figura 32), el cual ubica la sección critica entre la periferia del cubo y el orificio rectangular, proporcionando un valor mínimo de 3,6.

Figura 32

Resultado Factor de Seguridad del Disco



5.2 Análisis de la Cuchilla

Se realizo la verificación de los cálculos teóricos del diseño de la cuchilla, con un análisis estático con SolidWorks. Para ello se consideraron el material de la fabricación, y las fuerzas aplicadas sobre la cuchilla, con el fin de obtener información acerca de los esfuerzos generados, las deformaciones presentes y el factor de seguridad resultante de la simulación.

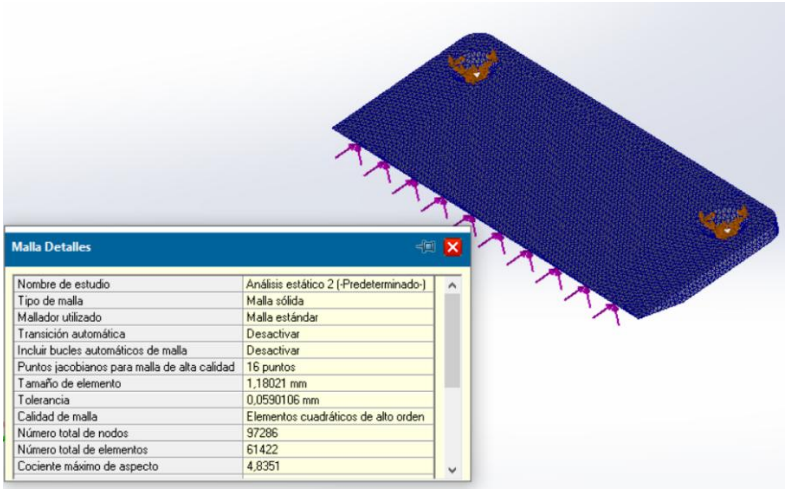
Figura 33

Vista Isométrica de la Cuchilla

Para la ejecución del análisis se aplicaron las fuerzas correspondientes sobre el filo de la cuchilla y los empotramientos en los orificios de sujeción. Se aplicó un mallado con un tamaño de 1,18 mm, con un total de 61.422 elementos y 97.286 nodos.

Figura 34

Mallado y Aplicación de Fuerzas de la Cuchilla



Al ejecutar la simulación, se obtuvieron los resultados del análisis de tensiones, en los cuales se identificaron los puntos críticos del diseño, con un valor máximo de 56,78 Mpa. Además, se mostraron los desplazamientos generados sobre la cuchilla, presentados en la Figura 36, donde el valor máximo de desplazamiento fue de 0,0256 mm, localizado en el punto medio del filo de la cuchilla.

Figura 35

Resultado Análisis de Tensiones en la Cuchilla

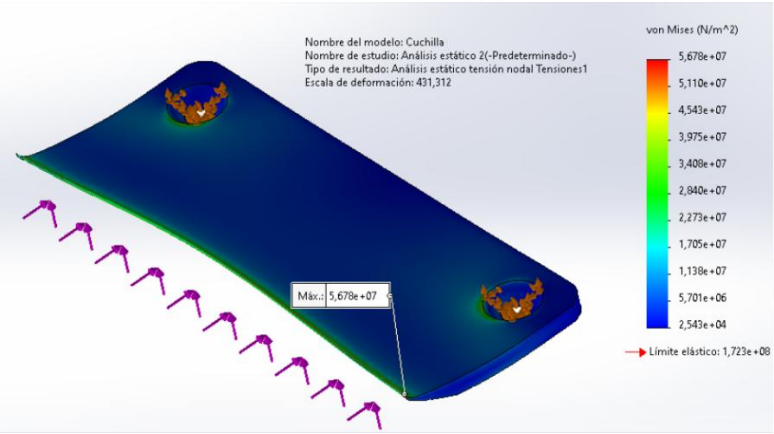
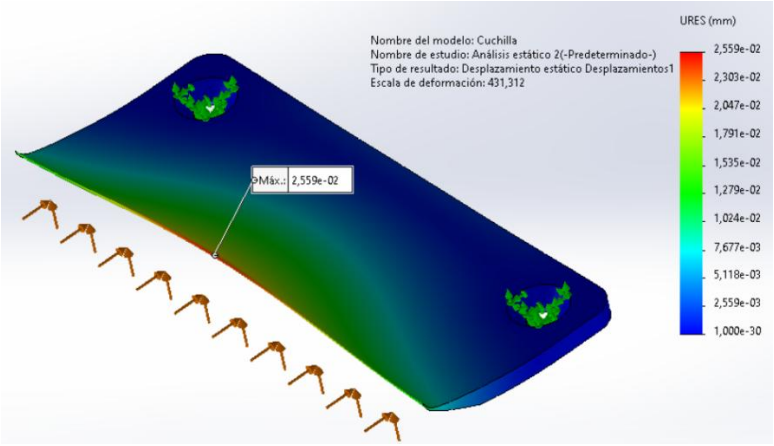


Figura 36

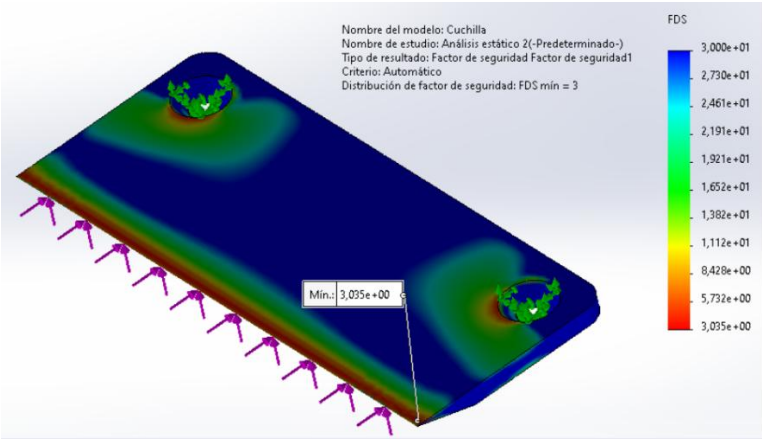
Resultado Análisis de Desplazamientos en la Cuchilla



Finalmente, se analizó la gráfica del factor de seguridad (Figura 37), obteniéndose un valor mínimo de 3,035 en un punto sobre el filo de la cuchilla.

Figura 37

Factor de Seguridad en la Cuchilla

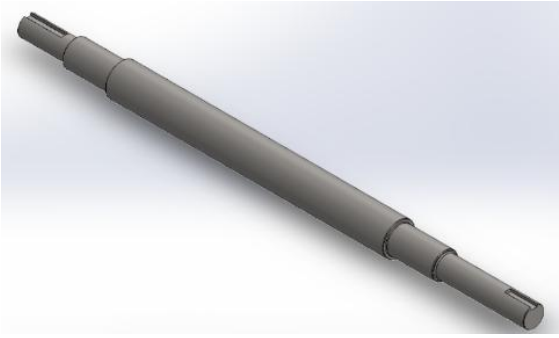


5.3 Análisis del Eje Principal

Para evaluar el comportamiento del eje principal bajo condiciones de carga, se realizó un análisis estático considerando el material de fabricación, los valores de momento flector, torsión y fuerzas aplicadas, con el fin de obtener información sobre el esfuerzo generado, las deformaciones presentadas y el factor de seguridad que proporciona la simulación. En la Figura 38 se muestra el diseño CAD del eje principal.

Figura 38

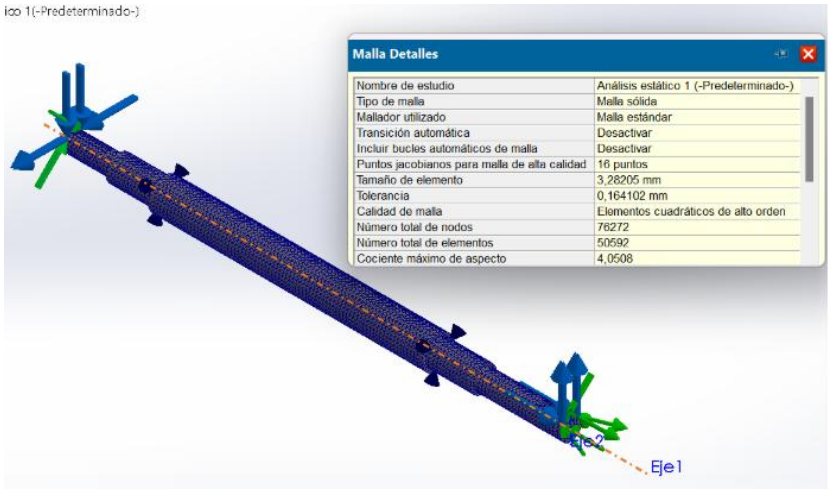
Diseño del Eje Principal en AISI 304



Para ejecutar la simulación, primero se aplicaron las condiciones de carga sobre el eje y se generó un mallado fino, el cual consistió en 50.592 elementos, 76.272 nodos y en un tamaño de malla de 3,28mm tal como se muestra en la Figura 39

Figura 39

Mallado y Aplicación de Fuerzas del Eje Principal



Ejecutando la simulación en el software, se obtuvieron los resultados del análisis de tensiones donde se observan los puntos críticos del diseño en la Figura 40. Asimismo, se obtuvieron los resultados de deformaciones donde se evidencia el desplazamiento que generan las cargas aplicadas sobre el eje y se muestra en la Figura 41, donde se obtuvo un valor máximo de deformación de 0,227mm sobre el punto D.

Figura 40

Resultado Análisis de Tensiones en el Eje Principal

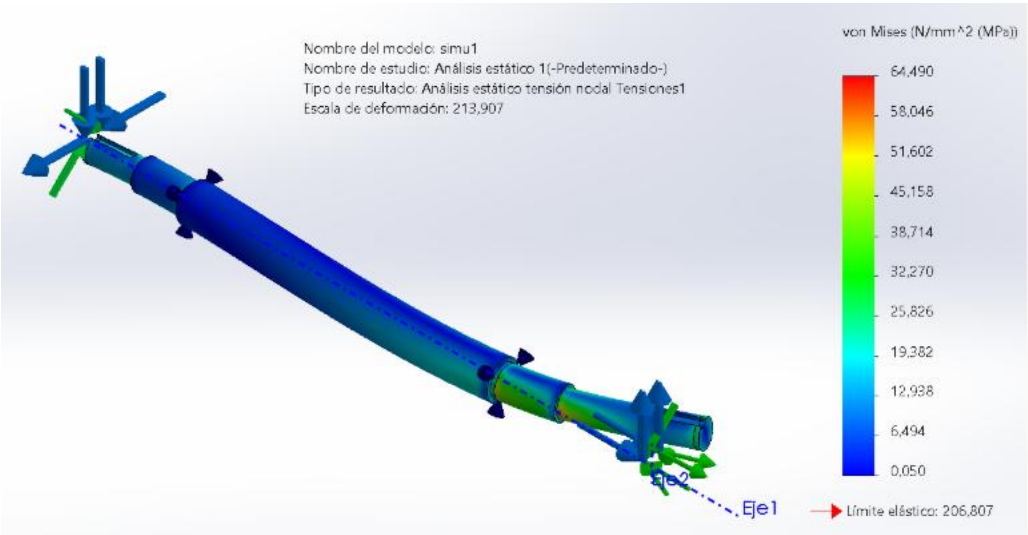
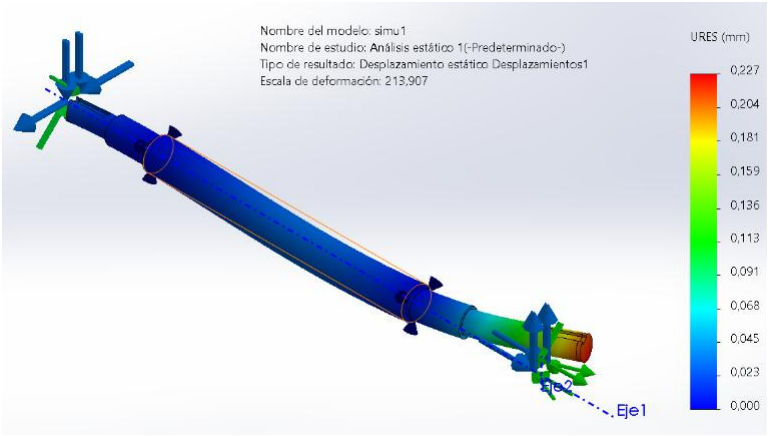


Figura 41

Resultado Análisis de Desplazamientos en el Eje Principal



Finalmente, se obtuvo el resultado del factor de seguridad que posee el eje en cada punto y se muestra en la Figura 42, proporcionando un valor mínimo de 3,207 en el cambio de sección entre el diámetro del rodamiento del punto C y el diámetro de disco de corte (Punto de falla 3). También, se realizó un análisis de convergencia donde se llevó el tamaño de malla grueso (13,1 mm) hasta un tamaño de malla fino (3,28 mm) para comparar la tendencia del factor de seguridad, el cual se muestra en la Tabla 15.

Figura 42

Factor de Seguridad en el Eje Principal

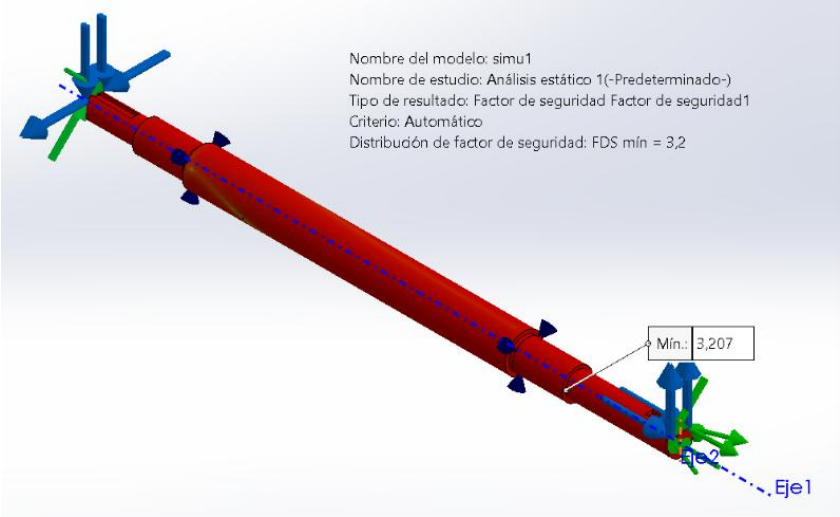


Tabla 15

Convergencia del Factor de Seguridad en el Eje Principal

Tamaño de malla [mm]	Factor de seguridad
13,1	3,693
10	3,673
9	3,611
7,5	3,606
5	3,392
4	3,346

6. Construcción, Prueba de Funcionamiento del Prototipo y Resultados

6.1 Construcción del Prototipo

El proceso de construcción de la maquina rebanadora de plátano se realizó en un orden que permitiera probar el funcionamiento de la maquina en cada avance. Además, se tuvo en cuenta la complejidad de fabricación u obtención de ciertas piezas para darle prioridad en la construcción de la máquina.

6.1.1 Bastidor

El bastidor corresponde a la estructura que soportará todos los subsistemas de la maquina (Exceptuando el subsistema estructural), el cual fue elaborado con perfil en L en hierro maleable (Figura 43a) y previamente cortado en longitudes deseadas en la fábrica COMERCIALIZADORA DE TUBOS Y LAMINAS E INVERSIONES donde se adquirió. La unión de la estructura se realizó por medio de tornillos M8 (Figura 43b) y tuercas de seguridad, con el fin de evitar su desajuste a causa de las vibraciones.

Figura 43

Materiales para el Bastidor

(a)

(b)

Figura 44

Bastidor de la Maquina Rebanadora de Plátano

6.1.2 Eje, Disco de Corte y Cuchilla

6.1.2.1 Fabricación del Eje Principal. El eje principal es el encargado de transmitir la potencia del motor hacia el disco de corte, su fabricación fue por medio de una barra circular de acero AISI 1020 de 1,375” de diámetro y 500 mm de longitud. Se realizó un proceso de mecanizado en torno (

Figura 45a) para obtener los diámetros requeridos, y un proceso de mecanizado en fresadora (

Figura 45b) para obtener los cuñeros de la polea conducida y el disco de corte.

Figura 45

Procesos de Mecanizado del Eje

(a)

(b)

Figura 46

Eje Principal

6.1.2.2 Fabricación del Disco de Corte. El disco de corte se encarga de transmitir el movimiento rotacional hacia la cuchilla para poder efectuar el corte del plátano. Este disco se fabricó por medio de una lámina de acero laminado en caliente con un espesor de 4 mm, a la cual

se le realizó un proceso de corte por plasma (Figura 47a) en la empresa Laminas y cortes Bucaramanga S.A.S, ubicada en la carrera 12 #24-40 de la ciudad de Bucaramanga.

Posteriormente, se realizó un proceso de roscado con machuelo para los orificios donde va la sujeción de la cuchilla y un proceso de soldadura por TIG para unir el disco de corte con el cubo (Figura 47b), el cual fue fabricado por medio de una barra de acero AISI 1020 en un proceso de mecanizado en torno.

Figura 47

Partes del Disco de Corte.

(a)

(b)

Figura 48

Disco de Corte

6.1.2.3 Fabricación de la Cuchilla. La cuchilla es la encargada de realizar un corte uniforme del plátano en rebanadas gracias al movimiento rotacional del disco de corte. Se escogió el material AISI 1070 y su fabricación fue llevada a cabo en la empresa AFILASOL, ubicada en la Carrera 8A #41-47 de la ciudad de Bucaramanga.

Figura 49

Cuchilla

6.1.3 Ducto de Alimentación y Pisón

6.1.3.1 Fabricación del Ducto de Alimentación. El ducto de alimentación es el encargado de dirigir el plátano hacia el disco de corte, facilitando el correcto ingreso del producto y evitando el contacto directo entre el operario y el disco. Este ducto de alimentación fue fabricado por medio de un tubo de acero AISI 1020 de 2-1/8” de diámetro y 1.5 mm de espesor, al cual se le realizó un corte inclinado; y una lámina en acero laminado en caliente de 3 mm de espesor, a la cual se le realizó un trabajo de corte por plasma en la empresa Laminas y cortes Bucaramanga S.A.S. A su vez, se realizó un proceso de soldadura con electrodo 6013 para unir el tubo y la lámina.

Figura 50

Ducto de Alimentación

(a)

(b)

6.1.3.2 Fabricación del Pizón. El pisón es el encargado de facilitar el empuje del plátano hacia el disco de corte a través del ducto de alimentación. Para su fabricación se utilizó una barra circular de HD-PE de 2” de diámetro y una longitud de 200 mm, a la cual se le efectuó un corte inclinado y un proceso de roscado por machuelo; y una barra circular de aluminio de 3/4” de diámetro y 300 mm de longitud, a la cual se le realizó un proceso de roscado por terraja. Además, se utilizó un cubo de aluminio, el cual pasó por un proceso de mecanizado y taladrado, con el fin de limitar el ingreso del pisón en el ducto de alimentación.

Figura 51

Herramienta de Empuje "Pizón"

6.1.4 Subsistema de Potencia y Control

La tensión eléctrica a la cual estará trabajando la maquina es de 110 voltios y todos los componentes eléctricos trabajarán a dicha tensión. Para la conexión del sistema de potencia se utilizó un (1) breaker bipolar con capacidad de soportar hasta 15 amperios de corriente alterna para salvaguardar el motor eléctrico; un (1) motor monofásico de 1 HP con conexión estrella y cable calibre 14.

Para el sistema de control se utilizó tres (3) luces pilotos (Verde, rojo y naranja), las cuales indicarán el estado en que se encuentre la maquina; un (1) pulsador de parado de emergencia, el cual se ubicará lo más cerca al operador para desenergizar la maquina en caso de un accidente; un (1) pulsador NA/NC para encender o apagar la maquina; un (1) contactor a 110V, una (1) caja plástica y cable calibre 16.

Figura 52

Componentes del Sistema Eléctrico

Figura 53

Sistema Eléctrico de la Maquina

6.1.5 Cubiertas Protectoras y Guardas de Seguridad

Estas cubiertas y guardas de seguridad se encargan de resguardar la máquina de polvo, suciedad, y de proteger al operario de las partes móviles de la máquina. Para su fabricación se acudió a la empresa Cortes y dobleces la 28, ubicada en la calle 28 #14-13 en el barrio Girardot. El material utilizado fue Coll rolled calibre 22 y los trabajos ejecutados fueron corte, doblez y soldadura.

Figura 54

Cubiertas y Guardas de Seguridad

6.1.6 Construcción del Prototipo

A continuación, se evidencian algunas imágenes tomadas durante el proceso de armado de la maquina rebanadora de plátano. Con ello, se muestra el montaje paso a paso que se llevó a cabo y al final, la maquina completamente construida.

Tabla 16

Construcción del Prototipo

IMÁGENES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA **REBANADORA DE PLÁTANO**		
Montaje estructura	**Montaje rodamientos, eje principal y polea conducida**	**Cableado estrella del motor**

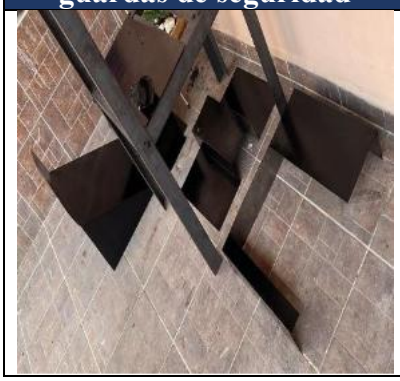
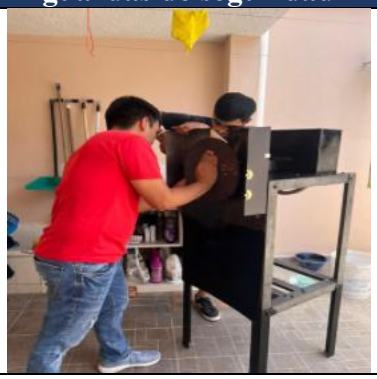
Montaje motor eléctrico y polea conductora	Montaje cuchilla	Montaje disco de corte
Montaje ducto de alimentación	**Montaje herramienta Pizón**	**Cableado eléctrico de la maquina**
Pintado de cubiertas y guardas de seguridad	**Montaje de cubiertas y guardas de seguridad**	**Montaje caja eléctrica**
		

Figura 55

Prototipo Maquina Rebanadora de Plátano

6.2 Prueba de Funcionamiento

Para realizar la prueba de funcionamiento del prototipo de la maquina rebanadora de plátano fue necesario realizar las siguientes pruebas de validación: prueba de funcionamiento de la maquina sin carga, prueba de funcionamiento de la maquina con carga, verificación de consumo y potencia de la máquina, y verificación de la rebanada de plátano producida.

6.2.1 Prueba de Funcionamiento de la Maquina Sin Carga

Al oprimir la puesta en marcha de la máquina, se verifica el funcionamiento correcto cuando esta no posee carga (No se rebana plátano), la cual debe presentar un comportamiento sin anomalía alguna ni altas vibraciones. En la Tabla 17 se evidencia el check list de la verificación realizada.

Tabla 17

Check List de Funcionamiento Sin Carga

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	
Fecha de inspección:	3/10/2025
Lugar de Inspección:	Fabrica de Pasabocas
REFERENCIA	**ESTADO**
Transmisión	✓
Sistema Eléctrico	✓
Ruido	✓
Vibraciones	✓

6.2.2 Prueba de Funcionamiento de la Maquina Con Carga

Para esta prueba, se verifica el funcionamiento correcto cuando la maquina está rebanando plátano continuamente, y su comportamiento no debe generar algún tipo de anomalía y las vibraciones deben ser mínimas. En la Tabla 18 se muestra el check list de la inspección realizada.

Tabla 18

Check List de Funcionamiento Con Carga

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	
Fecha de inspección:	3/10/2025
Lugar de Inspección:	Fabrica de Pasabocas
REFERENCIA	**ESTADO**
Transmisión	✓
Sistema Eléctrico	✓
Ruido	✓
Vibraciones	✓

6.2.3 Verificación de Consumo y Potencia de la Maquina

Para esta prueba, se utilizó una pinza amperimétrica que nos permitiera tomar el consumo de la máquina cuando esta sin carga (Figura 56a) y cuando tiene carga (Figura 56b). Con ello, se calculó la potencia de consumo en cada caso mediante la ecuación 6, considerando el voltaje de trabajo de 110 V y la eficiencia del motor de 75 %.

$$Pot_{real} = \eta_{motor} * V * I \quad (6)$$

Figura 56

Consumo de Corriente de la Maquina

(a)

(b)

Para el caso de funcionamiento sin carga se obtuvo una potencia de 624,525 Watts, y cuando se somete a carga la maquina aumenta su potencia a 642,675 Watts.

6.3 Resultados

Se realizó dos pruebas piloto del proceso de rebanado de plátano en la fábrica de la microempresaria, donde se tuvo un acercamiento real de la puesta en marcha de la máquina y se puso a prueba los objetivos de este proyecto.

Inicialmente se evaluó las rebanadas producidas en el proceso de corte, y se muestra que las tajadas se encuentran espesor promedio de 4 mm. Además, la longitud máxima de las tajadas no supera los 13,5 cm y se encuentra en un rango de error aceptable.

.

Figura 57

Espesor y Longitud de la Tajada

Se evidenció en una de las pruebas realizadas que, incluso sin un periodo previo de adaptación por parte de un operario ajeno al proceso, la maquina logró rebanar de 5 a 6 plátanos en 20 segundos. Con ello, se extrapoló el resultado obtenido a 310 plátanos (55 kg), lo que representó un tiempo de rebanado entre 17 y 20 minutos. Con un periodo de adaptación de 20 minutos, el operario alcanzó una capacidad de 7 plátanos en el mismo lapso, logrando reducir el tiempo total de rebanado a 14 minutos y 45 segundos.

Para evaluar el aprovechamiento de la materia prima se tomó una muestra de 9 plátanos, con un peso total de 1.544 gr, con el fin de verificar cuanto desperdicio se genera después del proceso de rebanado. Además, se le pidió a la microempresaria seleccionar las rebanadas que pasaban a ser producto final y dejar de lado aquellos trozos que se consideraban “desperdicio”.

Figura 58

Cantidad de Plátano Antes del Proceso de Rebanado

Figura 59

Separación del Producto Final

Una vez hecha la separación, se procedió a pesar la cantidad que se obtuvo de cada una para obtener el porcentaje de aprovechamiento de la materia prima y del desperdicio generado.

Figura 60

Medición del Peso del Producto Final

Una vez pesadas las muestras, se obtuvo una cantidad de 1.396 gr de producto final y 148 gr de desperdicio generado, lo cual corresponde a un aprovechamiento del 90,4% de la muestra tomada y un 9,58% de desperdicio generado durante el proceso. Con estos valores se cumple a cabalidad uno de los objetivos de este proyecto.

7. Plan de Mantenimiento Preventivo y Manual de Uso

7.1 Plan de Mantenimiento Preventivo

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo se efectúo con base a la periodicidad de las inspecciones o intervenciones a realizar, de tal forma que se asegure un correcto funcionamiento de la maquina a corto, mediano y largo plazo. Para ello, se definieron las actividades de revisión diarias, mensuales y anuales, que ayudaran a anticipar cualquier tipo de falla correctiva y garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la máquina.

7.1.1 Actividades Diarias

- Realice una limpieza general de la máquina al finalizar la jornada, principalmente en el disco de corte, la cubierta del disco de corte y el ducto de alimentación.
- Verificación del funcionamiento de los componentes eléctricos (Pulsadores y luces piloto).
- Inspección visual del estado de la cuchilla, el disco de corte y el pisón.
- Revisión general en busca de daños ocasionados por posibles golpes.

7.1.2 Actividades Mensuales

- Revisión de tensión de la correa y alineación del sistema de transmisión de potencia
- Ajuste de los tornillos de sujeción de la cuchilla
- Lubricación de partes móviles y rodamientos según especificación técnica del fabricante.
- Comprobación del sistema eléctrico: conexiones, cables, componentes y consumo del motor.

- Inspección de cubiertas y guardas de seguridad en busca de fisuras o daños por posibles golpes.

7.1.3 Actividades Anuales

- Verificación del estado de la cuchilla, y si el desgaste es significativo, cambiarla.
- Verificación del estado de los rodamientos, y si se requiere, cambiarlos.
- Comprobación del estado de la correa, y si presenta grietas o desgaste significativo, cambiarla.
- Verificación del estado de las poleas, y si presenta daños u holgura excesiva, cambiar la polea correspondiente.
- Revisión general del bastidor, soldaduras y guardas de seguridad en busca de daños o fisuras.
- Ajuste completo de los tornillos de sujeción presentes en la máquina.
- Limpieza profunda a la máquina en general.

7.2 Recomendaciones de Seguridad y Mantenimiento

- Mantener la zona de trabajo limpia, organizada y con buena iluminación.
- Instalar el candado de seguridad para las intervenciones de mantenimiento, y si no se cuenta con uno, desconectar la alimentación de la máquina.
- Mantener fuera del alcance de los niños y del personal sin capacitación previa sobre el funcionamiento de la máquina.
- Realizar limpieza de la máquina con el botón de parada de emergencia activado y que la máquina se encuentre desconectada de la alimentación.
- No tirar los cables de conexión para desconectar de la fuente de alimentación.
- No encender la maquina sin las guardas de seguridad o cubiertas.

- Utilizar los elementos de protección personal a la hora de realizar labores de mantenimiento en la máquina.
- En caso de un ruido anormal, apagar la máquina de inmediato.
- Mantener las manos alejadas de la zona de corte y siempre utilizar el pisón para empujar la materia prima.
- En caso de un cortocircuito, desenergizar el sistema eléctrico que alimenta la máquina.
- Limpiar la máquina con un paño seco para evitar generar corrosión u oxidación con productos de limpieza. Si utiliza un paño humedecido en agua, posteriormente secar con un paño limpio para evitar dejar rastros de humedad.

7.3 Manual de Operación

7.3.1 Alistamiento de Encendido de la Maquina

El accionamiento de la maquina se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Cerrar con candado de seguridad la guarda de seguridad del disco de corte.
2. Retirar el pizón del ducto de alimentación.

Figura 61

Pizón Fuera del Ducto de Alimentación

3. Conectar el cable de alimentación de la maquina al tomacorriente.

Figura 62

Conexión de la Maquina a la Fuente de Alimentación

4. Accionar el breaker o guardamotor que se encuentra en el cuadro eléctrico.

Figura 63

Breaker en Estado OFF

5. En caso tal de encontrarse encendida la luz naranja, desenclavar el pulsador de parada de emergencia.

Figura 64

Maquina en Estado de Parada de Emergencia

7.3.2 Encendido y Apagado de la Maquina

El encendido y apagado se lleva a cabo por medio del pulsador ON/OFF que se encuentra en el cuadro eléctrico, y el estado de operación en que se encuentre la maquina se indica por medio de una luz piloto como se muestra de la siguiente manera:

1. Para encender la máquina, se pulsa el botón verde y se encenderá la luz verde.

Figura 65

Maquina Encendida

2. Para apagar la máquina, se pulsa el botón rojo y se encenderá la luz roja

Figura 66

Maquina Apagada

7.3.3 Operación de Rebanado de Plátano

La operación de rebanado se ejecuta de la siguiente manera:

1. El trabajador tomará el plátano pelado y lo ingresará por el ducto de alimentación.

Figura 67

Ingreso del Plátano

2. Una vez ingresado el plátano, se ingresa de manera simultánea el pizón y deberá ejercer fuerza para empujar el plátano a lo largo del ducto.

Figura 68

Manejo de la Herramienta "Pizón"

3. Al llegar al tope de ingreso del Pizón, este se retira del ducto de alimentación y se repetirá el proceso nuevamente.

7.3.4 Parada de Emergencia de la Maquina

La parada de emergencia se utiliza cuando existe un problema repentino en la máquina o se presente un incidente/accidente laboral que involucre la operación de la máquina. En esos casos, la parada de emergencia deberá se presionada de forma inmediata para evitar un problema mayor.

Figura 69

Pulsador Parada de Emergencia

8. Viabilidad e Impacto Económico

8.1 Costos de Fabricación

Para la elaboración del análisis económico fue necesario tener en cuenta todos los factores que inciden en la fabricación de la maquina rebanadora de plátano, esto se hace con el fin de determinar la inversión que se debe realizar. Para ello, se incluyeron los costos de los materiales que conforman cada subsistema, así como los costos asociados a los procesos de manufactura y al montaje de la máquina. Los valores detallados se presentan en el Apéndice M.

Tabla 19

Costo Total Maquina Rebanadora de Plátano

Descripcion	Valor
Costo de Materiales	$ 2.622.500,00
Costo de operación	$ 690.000,00
Costo de Montaje	$ 520.000,00
Subtotal	$ 3.832.500,00
Imprevistos (10%)	$ 383.250,00
TOTAL	**$ 4.215.750,00**

8.1 Viabilidad

Para evaluar la viabilidad de la maquina rebanadora de plátano, se utilizó la información suministrada por los indicadores financieros de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). A partir del flujo de caja proyectado a un año, se determinó la rentabilidad del proyecto.

En el análisis del flujo de caja anual se consideraron las entradas y salidas derivadas de la venta de chips de plátano. En los egresos, se incluyeron los costos asociados al funcionamiento de la máquina rebanadora y otros factores para transformar la materia prima en el producto final.

Tabla 20

Flujo de Caja Anual

Periodos	0	1	2	3	4	5	6
Inversion	$ 4.215.750,00						
Saldo inicial	-$ 4.215.750,00	-$ 4.215.750,00	-$ 1.536.637,54	$ 1.142.474,92	$ 3.821.587,39	$ 6.500.699,85	$ 9.179.812,31
Ingresos							
Venta platanos		$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00
Total Ingresos	**$ -**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**
Egresos							
Consumo de energia	$ -	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04
Conusmo de Gas	$ -	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30
Mantenimiento	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -
Salario del operario	$ -	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00
Materia Prima	$ -	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20
Total Egresos	**$ -**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**
Saldo final	**-$ 4.215.750,00**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**

Periodos	7	8	9	10	11	12
Inversion						
Saldo inicial	$ 11.858.924,77	$ 14.538.037,23	$ 17.217.149,70	$ 19.896.262,16	$ 22.575.374,62	$ 25.254.487,08
Ingresos						
Venta platanos	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00	$ 12.240.000,00
Total Ingresos	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**	**$ 12.240.000,00**
Egresos						
Consumo de energia	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04	$ 11.955,04
Conusmo de Gas	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30	$ 1.297.297,30
Mantenimiento	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 421.575,00
Salario del operario	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00	$ 2.588.000,00
Materia Prima	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20	$ 5.663.635,20
Total Egresos	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.560.887,54**	**$ 9.982.462,54**
Saldo final	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.679.112,46**	**$ 2.257.537,46**

Nota: La obtención de los valores involucrados en esta tabla se encuentran en el Anexo M.

Posteriormente, con los saldos finales de cada mes obtenidos en el flujo de caja, se procedió a calcular el VPN mediante la ecuación 7, donde F_t corresponde al flujo efectivo del mes *t, t* es el periodo de análisis hasta los 12 meses y la *i* representa la tasa de interés. Para el cálculo se consideró una tasa del 10 % E.A, equivalente a una tasa mensual de 0,797 %.

$$VPN = \sum_{t=0}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^t} \tag{7}$$

$$VPN \ = \$\ 25.944.189{,}02$$

Lo anterior indica que el proyecto resulta rentable. Asimismo, la tasa interna de retorno (TIR) obtenida fue del 63 %, siendo un valor superior a la tasa de usura vigente a la fecha del 1 de

octubre de 2025, la cual es de 37,40% según la Superintendencia financiera para los créditos destinados para el sector productivo urbano.

En cuanto al tiempo de recuperación de la inversión, se estimó que el capital invertido se recupera en un periodo inferior a dos meses, lo que hace de esta alternativa una inversión interesante, mostrando los beneficios de su implementación al instante.

Tabla 21

Payback

Mes	Saldo Inicial
0	-$ 4.215.750,00
1	$ 2.679.112,46
1,57	$ 1.536.637,54
PayBack	**1 Mes_17 DIAS**

9. Conclusiones

Se logró diseñar una maquina rebanadora de plátano con una capacidad de producción de 55 kg en un tiempo estimado de 15 minutos, desperdiciando un 9,58% de la materia prima utilizada durante el proceso de rebanado. Asimismo, las rebanadas obtenidas para producto final cumplen con los requerimientos establecidos por la microempresaria, dando un espesor de 4 milímetros y una longitud máxima de 13 centímetros.

Se aisló al operario de un contacto directo con la herramienta de corte (Cuchilla) y la paila de aceite caliente, logrando aumentar su seguridad y reduciendo el riesgo a cortaduras y quemaduras.

Se trazó un plan de mantenimiento diario, mensual y anual, de fácil seguimiento y realización que alargará la vida útil de la máquina. Además, se redactó un manual de uso de fácil entendimiento para el personal que vaya a utilizarla, donde se evaluó la adaptación del trabajador al uso de la rebanadora y se concluyó que cumple a cabalidad con ser un diseño de fácil adaptación y manejo por el operario.

El costo de la construcción y puesta en funcionamiento de la maquina rebanadora de plátano resulto ser viable a partir de un corto periodo de tiempo. La inversión de $ 4.215.750 COP representa una tasa de retorno del 63 % y un tiempo de recuperación de 1 mes con 17 días, que representara un impacto inmediato al momento de su implementación en la empresa.

Referencias Bibliográficas

Aid, B (2011). El mercado de los snacks. IAlimentos (11 ed.), 41-42.

Alguero, M. (31 de octubre de 2023). El área metropolitana de Bucaramanga sorprende de nuevo como la ciudad con menor desempleo de Colombia. *Vanguardia.* https://www.vanguardia.com/economia/local/2023/10/31/el-area-metropolitana-de-bucaramanga-sorprende-de-nuevo-como-la-ciudad-con-menor-desempleo-de-colombia/

Parada, A. (1990). *Fatiga.* Universidad Industrial de Santander.

Budynas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9ª. Ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas.* (4ª. Ed.). Pearson Educación.

Orús, A. (4 de marzo de 2024). *El mercado global de los snacks – Datos estadísticos.* Statista. Recuperado el 9 de septiembre de 2025 de https://es.statista.com/temas/10269/aperitivos-y-snacks-en-el-mundo/#topFacts

Redacción BLU Radio (15 de septiembre de 2023). *De las 73.000 empresas de Bucaramanga y el área, el 94% son microempresas: informe Cómo Vamos*. BLURadio. https://www.bluradio.com/blu360/santanderes/de-las-73-000-empresas-de-bucaramanga-y-el-area-el-94-son-microempresas-informe-como-vamos-rg10

Resolución 1821 de 2025 [Superintendencia Financiera de Colombia]. Por la cual se certifica el Interés Bancario Corriente para las modalidades de crédito de consumo y ordinario, crédito de consumo de bajo monto, crédito productivo de mayor monto, crédito productivo rural, crédito productivo urbano, crédito popular productivo rural y crédito popular productivo urbano. 30 de septiembre de 2025.

Resolución 4142 de 2012 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional. 07 de diciembre de 2012.

Resolución 46/06 [Grupo Mercado Común del MERCOSUR]. Reglamento técnico MERCOSUR sobre disposiciones para envases, revestimientos, utensilios, tapas y equipamientos metálicos en contacto con alimentos (Derogación de las Res GMC N° 27/93, 48/93 y 30/99). 02 de junio de 2006.

Resolución 48/23 [Grupo Mercado Común del MERCOSUR]. Modificación de la resolución GMC N° 46/06 "Reglamento técnico MERCOSUR sobre disposiciones para envases, revestimientos, utensilios, tapas y equipamientos metálicos en contacto con alimentos". 05 de diciembre de 2023.

Rojas, H. (1992). *Diseño de máquinas II*. UIS. Departamento de ingeniería mecánica.

SKS (2020). *Rodamientos.* Recuperado de: cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf

Young, W. C. y Budynas. R. G. (2002). *Roark's formulas for stress and strain.* McGraw-Hill.