

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS MECANICOS**

**TEMA:  
DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA  
MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA FABRICACIÓN DE DONUTS DE Ø  
10CM A RAZÓN 12 KG/H PRODUCTO TERMINADO.**

**AUTORES:  
CALAHORRANO COUSIN DARIO JAVIER  
SALAS VIVERO DANIEL FERNANDO**

**DOCENTE TUTOR:  
FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA**

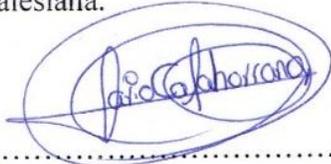
**Quito, agosto del 2019**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Calahorrano Cousin Dario Javier con documento de identificación N° 1804343919 y Salas Vivero Daniel Fernando con documento de identificación N° 1725670424, manifestamos

nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA FABRICACIÓN DE DONUTS DE Ø 10CM A RAZÓN 12 KG/H PRODUCTO TERMINADO, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



Calahorrano Cousin Dario Javier

CI: 1804343919

Quito, agosto de 2019



Salas Vivero Daniel Fernando

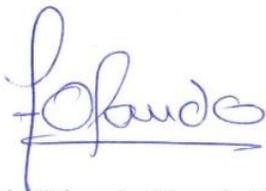
CI: 1725670424

Quito, agosto de 2019

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, DISEÑO, SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA FABRICACIÓN DE DONUTS DE Ø 10CM A RAZÓN 12 KG/H PRODUCTO TERMINADO realizado por Daniel Fernando Salas Vivero y Dario Javier Calahorrano Cousin, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2019



Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera. M.Sc.  
C.I 1707982169

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi abuela Eudosia Torres por ser el impulso para seguir adelante cada día, junto a mi abuelo Don Pepe me dieron un espacio importante en su vida logrando educarme en el camino de rectitud, sacrificio y esfuerzo.

A mis padres Alfonso y Sonia por el apoyo constante durante mi formación profesional para cumplir cada uno de mis objetivos propuestos en la vida.

A mi tía Martha por su cariño incondicional que me enseñó que ante las adversidades hay que ser fuerte, no dejarse vencer y hacer las cosas sin miedo.

A todas las personas que aportaron ese granito de arena fundamental para conseguir culminar este proyecto se los dedico con mucho cariño y afecto.

Daniel Fernando Salas Vivero

El presente trabajo investigativo si bien ha requerido de mucho esfuerzo, lo dedico a Dios por estar conmigo en cada paso que doy y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Por tener el apoyo de mis padres Patricio Calahorrano, Mirian Cousin, hermanos, novia y amigos que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que me acompañaron en el recorrido laborioso de este trabajo.

Dario Javier Calahorrano Cousin

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a cada una de las personas que forman parte de la Universidad Politécnica Salesiana que plasmaron los conocimientos necesarios para superar las diferentes barreras del camino y conquistar el objetivo de ser un excelente profesional.

Expresamos gratitud al Ingeniero Fabio Obando por su disponibilidad, paciencia, confianza y su capacidad para guiarnos con ideas que han sido de gran aporte invaluable en la realización de este proyecto, no solamente en el desarrollo de la tesis, sino también en nuestra formación como investigadores y a través de su apoyo ha contribuido a la finalización del mismo.

Darío Javier Calahorrano Cousin

Daniel Fernando Salas Vivero

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad encontrar una alternativa óptima en la simulación y construcción de una máquina para fabricación de donuts de  $\varnothing$  10cm a razón 12 kg/h. La máquina posee un sistema semiautomatizado biela - manivela para la extracción de donuts así como también un sistema de volteo mediante cadena- piñón entre otros sistemas mecánicos y eléctricos.

La metodología que se utilizó para obtener el análisis de los sistemas mecánicos, eléctricos y semiautomáticos, consiste en el método investigativo de acuerdo a manuales de diseño, seleccionando materiales adecuados para su construcción, cumpliendo con todas las normas establecidas y factores de seguridad mínimo recomendado.

Las pruebas se realizaron mediante dos procesos, uno de los cuales consiste en simular la máquina semiautomática mediante el software Autodesk Inventor y el otro es comprobar la formación e inyección de masa con la ayuda de nuestro prototipo. Por lo tanto todas las partes funcionan de acuerdo al objetivo planteado.

Con el diseño y construcción del equipo se alcanza un gran beneficio social, científico y tecnológico para la industria alimenticia en el área de panificación, reduciendo costos, tiempo y mano de obra.

**Palabras claves:** Semiautomatizado, Factor de seguridad, Autodesk Inventor, Biela-Manivela, Cadena-Piñón

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to find an optimal alternative in the simulation and construction of a machine for making donuts of  $\varnothing$  10cm at a rate of 12 kg / h product finished. The machine has a semiautomatized crank-crank system for the exposure of donuts as well as a tilting system using a chain-sprocket between other mechanical and electrical systems.

The methodology used to obtain the analysis of the mechanical, electrical and semiautomatic systems consists of the investigative method according to design manuals, selecting suitable materials for its construction, complying with all the established norms and minimum recommended safety factors.

The tests were carried out through two processes, one of which is to simulate the semiautomatic machine using Autodesk Inventor software and the other is to check the formation and mass injection with the help of our prototype. Therefore, all the parties work according to the objective set.

With the design and construction of the equipment, a great social, scientific and technological benefit is achieved for the food industry in the baking area, reducing costs, time and labor.

**Keywords:** Semi-Automated, Safety Factor, Inventor Autodesk, Connecting-Crank, Chain-Pinion

## ÍNDICE

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
Planteamiento del Problema.....	17
Justificación e Importancia.....	18
Objetivos.....	19
Objetivo General .....	19
Objetivos Específicos .....	19
CAPITULO I.....	20
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1. Origen de los donuts.....	20
1.2. Proceso de elaboración.....	21
1.2.1. Ingredientes.....	21
1.2.2. Preparación de la masa.....	22
1.2.3. Formación del donut .....	22
1.2.4. Cocción de donuts.....	23
1.2.5. Enfriamiento del producto y decorado.....	24
1.3. Descripción de la maquina semiautomática para fabricación de donuts de Ø 10cm a razón 12 kg/h. ....	24
1.4. Descripción del sistema mecánico.....	25
1.4.1. Sistema de transmisión.....	26
1.4.1.1. Motor eléctrico .....	26
1.4.1.2. Sistema de transmisión por catarinas-piñón.....	27
1.4.2. Sistema de transformación. (Biela manivela) .....	28
1.4.3. Métodos de formación de donuts.....	29

1.4.3.1.	Método de lámina-corte.....	29
1.4.3.2.	Método de extrusión.....	30
1.5.	Sistema de automatización.....	30
1.5.1.	La Parte Operativa.....	31
1.5.2.	La Parte de Mando.....	31
1.5.3.	Transductores.....	31
1.5.3.1.	Transductores analógicos.....	32
1.5.3.2.	Transductores digitales.....	32
1.5.4.	Actuadores.....	32
1.6.	Sistema de control.....	33
1.6.1.	Sistema en lazo cerrado.....	33
1.6.2.	Sensor de temperatura Pt 100 WTR 120.....	34
1.6.3.	Válvula Solenoide 8210G95.....	35
1.7.	Sistema eléctrico de la máquina.....	35
1.7.1.	Corriente alterna trifásica.....	35
1.8.	Proceso de Cocción.....	36
1.8.1.	Freidora.....	36
1.8.2.	Quemador.....	37
1.8.3.	Poder Calórico GLP.....	37
1.9.	Especificaciones de Normativa.....	38
1.9.1.	Lugar de ocupación e instalaciones para la maquina.....	39
1.9.2.	Materiales para contacto con alimentos.....	39
1.9.2.1.	Acero inoxidable.....	39
1.9.2.2.	Aluminio.....	39
CAPITULO II.	.....	40

2.	Estudio de Alternativas.....	40
2.1.	Maquina automática industrializada fabricadora de donuts (Alternativa 01) ...	40
2.1.1.	Análisis de alternativa .....	40
2.1.2.	Ventajas:.....	40
2.1.3.	Desventajas: .....	41
2.2.	Máquina semiautomática para fabricación de donuts (Alternativa 02).....	41
2.2.1.	Análisis de alternativa .....	41
2.2.2.	Ventajas:.....	42
2.2.3.	Desventajas: .....	42
2.3.	Máquina con manivela para fabricación de donuts (Alternativa 03) .....	43
2.3.1.	Análisis de alternativa .....	43
2.3.2.	Ventajas:.....	43
2.3.3.	Desventajas: .....	44
2.4.	Identificación de necesidades .....	44
2.5.	Selección de la mejor alternativa.....	45
CAPITULO III.....		47
3.	Diseño Mecánico.....	47
3.1.	Sistema de Inyección .....	47
3.1.1.	Volumen de inyección.....	47
3.1.2.	Dimensionamiento del recipiente porta masa. ....	49
3.1.3.	Tiempo de inyección .....	52
3.1.4.	Cálculo de la velocidad de inyección.....	52
3.1.5.	Mecanismo de Inyección.....	53
3.1.6.	Diseño del eje inyector.....	56
3.1.7.	Cálculo de la potencia del motor para inyección .....	58

3.2.	Sistema de circulación de aceite.....	58
3.2.1.	Paleta propulsora.....	58
3.2.2.	Sistema de volteo .....	61
3.2.3.	Diseño de los ejes.....	62
3.2.4.	Cálculo del motor para sistema de circulación. ....	63
3.2.5.	Diseño del Engranaje .....	64
3.2.6.	Mecanismo de circulación de aceite .....	66
3.2.7.	Selección de rodamientos.....	69
3.3.	Sistema de Cocción .....	71
3.3.1.	Calor necesario para cocción .....	71
3.3.2.	Consumo de GLP .....	73
3.3.3.	Dimensionamiento del quemador .....	74
3.4.	Estructura soporte.....	75
3.4.1.	Simulación de cargas en la base.....	75
3.4.2.	Soporte para el brazo giratorio de apoyo .....	77
3.5.	Diseño de juntas permanentes y no permanentes .....	80
3.5.1.	Juntas permanentes.....	80
3.5.2.	Juntas no permanentes.....	81
3.6.	Sistema de control y automatización.....	83
3.6.1.	Proceso y control en lazo cerrado .....	83
3.6.2.	Identificación de variables en el sistema de automatización .....	83
3.6.3.	Funcionamiento Automático de la máquina semiautomática de donuts....	84
3.6.4.	Programación Leader .....	85
3.6.5.	Simulación PC-SIMU .....	86
CAPITULO IV.....		88

4. Pruebas y análisis.....	88
4.1. Pruebas de funcionalidad con prototipo de inyección.....	88
4.1.1. Recolección de datos .....	88
4.2. Análisis de resultados.....	90
4.3. Análisis económico.....	92
4.3.1. Costos generales de la máquina.....	92
4.3.2. Costos de materia prima.....	92
4.3.3. Costo de elementos normalizados.....	93
4.3.4. Costo de maquinado.....	95
4.3.5. Costo de mano de obra.....	96
4.3.6. Costo de diseño .....	97
4.3.7. Costos no planificados. ....	97
4.3.8. Costo total de la máquina.....	97
4.3.9. Cálculo de VAN y TIR. ....	97
Conclusiones.....	99
Recomendaciones.....	100
Bibliografía.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ingredientes para la fabricación de 12 Kg/h en donuts. ....	21
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los principales mecanismos. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los actuadores. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Componentes de automatización y control. ....	34
<b>Tabla 5.</b> Propiedades y composición del GLP ....	38
<b>Tabla 6.</b> Evaluación de criterios por valoración. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Evaluación de criterios por participación. ....	46
<b>Tabla 8.</b> Desempeño de alternativas. ....	46
<b>Tabla 9.</b> Dimensiones de donuts en tiendas en quito ....	47
<b>Tabla 10.</b> Dimensiones de donuts ....	48
<b>Tabla 11.</b> Masa de un donut crudo ....	49
<b>Tabla 12.</b> Cantidad de volumen en 1 hora de trabajo. ....	49
<b>Tabla 13.</b> Dimensiones del recipiente porta masa. ....	49
<b>Tabla 14.</b> Numero de donuts a inyectar. ....	52
<b>Tabla 15.</b> Aberturas ideales para la malla. ....	61
<b>Tabla 16.</b> Tabla de pesos para una máquina semiautomática de donuts. ....	75
<b>Tabla 17.</b> Identificación de variables ....	84
<b>Tabla 18.</b> Recopilación de datos en donuts ....	89
<b>Tabla 19.</b> Costos Generales. ....	92
<b>Tabla 20.</b> Costos materia prima. ....	92
<b>Tabla 21.</b> Costos de elementos normalizados. ....	94
<b>Tabla 22.</b> Costos de maquinado. ....	96
<b>Tabla 23.</b> Costos de mano de obra. ....	96
<b>Tabla 24.</b> Costo total de la máquina. ....	97
<b>Tabla 25.</b> Datos de proyección. ....	98
<b>Tabla 26.</b> Cálculo TIR y VAN. ....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Escultura del capitán Hanson Gregory [4].	20
<b>Figura 2.</b> Preparación de la masa [7].	22
<b>Figura 3.</b> Partes de un dosificador [7].	23
<b>Figura 4.</b> Cocción de donuts [10].	23
<b>Figura 5.</b> Enfriamiento y secado de donuts [11].	24
<b>Figura 6.</b> Máquina Semiautomática para fabricación de donuts [12].	24
<b>Figura 7.</b> Sistema de transmisión polea – correa [14].	26
<b>Figura 8.</b> Sistema de transmisión por catarinas [16].	27
<b>Figura 9.</b> Partes de una cadena [16].	28
<b>Figura 10.</b> Mecanismo centrado biela y manivela [17].	28
<b>Figura 11.</b> Estación de corte motorizada [18].	29
<b>Figura 12.</b> Extrusión de masa para donuts [5].	30
<b>Figura 13.</b> Estructura de un transductor [22].	31
<b>Figura 14.</b> Elementos de control de un sistema de lazo cerrado [24].	33
<b>Figura 15.</b> Sensor de temperatura Pt 100 WTR 120 [25].	34
<b>Figura 16.</b> Válvula Solenoide 8210G95 [26].	35
<b>Figura 17.</b> Grafica sistema trifásico [27].	36
<b>Figura 18.</b> Freidora de donuts [31].	37
<b>Figura 19.</b> Quemador a gas [33].	37
<b>Figura 20.</b> Máquina automática industrializada para fabricación de donuts [39].	40
<b>Figura 21.</b> Máquina semiautomática para fabricación de donuts [31].	41
<b>Figura 22.</b> Máquina con manivela para fabricación de donuts [43].	43
<b>Figura 23.</b> Diseño de un donut en el software Inventor [51].	48
<b>Figura 24.</b> Modelado del volumen de masa [51].	49
<b>Figura 25.</b> Dimensiones para el recipiente [51].	50
<b>Figura 26.</b> Superficie sometida a esfuerzo del cuerpo porta masa [51].	50
<b>Figura 27.</b> Simulación de desplazamiento [51].	51
<b>Figura 28.</b> Simulación- coeficiente de seguridad [51].	51
<b>Figura 29.</b> Carrera de la Inyección [51].	52

<b>Figura 30.</b> Sistema Biela-Manivela [51].	53
<b>Figura 31.</b> Momento Flector máximo [51].	54
<b>Figura 32.</b> Deformación de la biela [51].	55
<b>Figura 33.</b> Factor de seguridad de la biela [51].	56
<b>Figura 34.</b> Simulación del desplazamiento en el eje inyector [51].	57
<b>Figura 35.</b> Simulación del factor de seguridad en el eje inyector [51].	57
<b>Figura 36.</b> Simulación de deformación de la paleta propulsora [51].	60
<b>Figura 37.</b> Simulación del factor de seguridad de la paleta propulsora [51].	60
<b>Figura 38.</b> Deformación en el sistema de volteo [51].	61
<b>Figura 39.</b> Simulación del factor de seguridad de la malla [51].	62
<b>Figura 40.</b> Simulación del eje [51].	62
<b>Figura 41.</b> Diámetro ideal determinado por Inventor [51].	63
<b>Figura 42.</b> Mecanismo para circulación de aceite [51].	67
<b>Figura 43.</b> Selección de Piñón [64].	67
<b>Figura 44.</b> Selección de engranaje para sistema de volteo [64].	68
<b>Figura 45.</b> Selección de cadena [64].	69
<b>Figura 46.</b> Diagrama de fuerzas en cortante [51].	69
<b>Figura 47.</b> Calculo de rodamiento en AutoCAD Mechanical [51].	70
<b>Figura 48.</b> Capacidad de carga estática para rodamientos [51].	70
<b>Figura 49.</b> Selección de rodamiento SKF para altas temperaturas [51].	71
<b>Figura 50.</b> Volumen de aceite vegetal simulado [51].	72
<b>Figura 51.</b> Dimensionamiento Chimenea [51].	74
<b>Figura 52.</b> Ingreso de cargas a estructura base [51].	76
<b>Figura 53.</b> Desplazamiento en la estructura [51].	76
<b>Figura 54.</b> Factor de seguridad en la estructura [51].	77
<b>Figura 55.</b> Diagrama para el brazo giratorio de apoyo [51].	77
<b>Figura 56.</b> Traslado de cargas al eje principal [51].	78
<b>Figura 57.</b> Diagrama momento flector [51].	78
<b>Figura 58.</b> Junta permanente más crítica.	80
<b>Figura 59.</b> Junta No permanente a tensión.	81
<b>Figura 60.</b> Junta No permanente a cortante.	82

<b>Figura 61.</b> Diagrama de control maquina semi automática para fabricación de donuts [51].	83
<b>Figura 62.</b> Programa principal para reconocimiento del encoder.	85
<b>Figura 63.</b> Interfaz de automatización en PC-SIMU [77].	86
<b>Figura 64.</b> Pantalla de sincronización en la simulación [78].	87
<b>Figura 65.</b> Prototipo para inyección de masa de donuts [51].	88
<b>Figura 66.</b> Instrumentos de medición para las pruebas [51].	89
<b>Figura 67.</b> Muestras de donuts para la medición [51].	90
<b>Figura 68.</b> Distribución normal en función del diámetro externo [51].	90
<b>Figura 69.</b> Distribución normal en función del peso [51].	91
<b>Figura 70.</b> Inyección del donut realizado por el prototipo [51].	92

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto técnico tiene por propósito mejorar los procesos de elaboración y cocción de donuts obteniendo como resultado una mejor producción, higiene y calidad de producto. A través del paso del tiempo ha aumentado la necesidad de integrar maquinas semiautomáticas en procesos industriales para facilitar y satisfacer las exigencias de la sociedad, siendo siempre la razón principal la producción y competitividad en la industria nacional.

Antiguamente las formas de los donuts eran elaboradas manualmente por métodos artesanales hoy en día existen maquinas, pero solamente cumplen con la función de mezclar ingredientes más no una máquina que de la forma a los donuts.

Los donuts son aperitivos muy populares y apreciados por los ecuatorianos, que están hechos básicamente de harina de trigo, azúcar, levadura, sal, mantequilla entre otros ingredientes caseros. Hasta que se forma una especie de masa cristalizada, cuando se llega a ese punto se debe dejarla reposar.

El proyecto constara de una simulación en software especializado para evaluar el diseño de elementos críticos y el funcionamiento del sistema mecánico, considerando las propiedades de los materiales empleados.

Al culminar se realizará una observación detallada de los resultados obtenidos en la simulación además de las conclusiones y recomendaciones.

### **Planteamiento del Problema**

En el sector comercial a nivel nacional de las panaderías y/o pastelerías, existen pocas empresas que dedican sus esfuerzos a cubrir la demanda en la fabricación de donuts, siendo las empresas extranjeras las más reconocidas de este mercado, ya que se trata de un producto muy versátil. El mercado ha ido incrementándose y abriéndose plazas, para las pequeñas empresas reiteran más importancia dentro de los supermercados de gran tamaño y es más usual la producción de productos de forma artesanal y poco higiénica [1].

Para nuestro caso puntual en la fabricación de donuts por la creciente demanda de consumo, permite ver qué la producción de donuts es baja, una explicación sería la falta de competencia formal en el sector, lo cual genera una oportunidad de negocio. La falta de maquinaria semiautomática de donuts es un problema debido a que empresas nacionales no fabrican ningún tipo de equipo.

La situación actual del Ecuador hace vital cambiar el sector y crear nuevos productos para hacer frente a nuevos gustos y tendencias. Por ejemplo, elaborando donuts bajos en grasas o con ingredientes ecológicos. Con el fin de crear un nuevo mercado además de mantener o incluso favorecer el mercado tradicional de donuts [2].

### **Justificación e Importancia**

A nivel de Ecuador existen pocas franquicias dedicadas estrictamente a la fabricación de donuts adicional el consumidor tiende a variar dependiendo de la región que se encuentre, En general es un consumidor que conoce más acerca de su salud, especialmente en el núcleo urbano poblado y con poder adquisitivo. A consecuencia sube la demanda a productos más saludables fortificados o libres de gluten.

Los “millennials” personas comprendidas entre los 15 y 35 años siendo 2/3 de la población mundial. Este tipo de consumidor tiene un inusual estilo de vida uno de los más importantes es el consumo de frituras, conduciendo a la industria a generar este tipo de alimentos [1].

Con el desarrollo de este proyecto de tesis se busca cumplir con los requerimientos solicitados por la universidad acorde a la exigencia y requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Diseñar, simular y construir un prototipo de una máquina semiautomática para fabricación de donuts de  $\varnothing$  10cm a razón 12 kg/h producto terminado.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar la situación actual correspondiente al sector de la panificación enfocado en la producción de donuts a nivel de Quito y de esta manera implementar la alternativa más idónea con nuestro equipo para satisfacer la necesidad de consumo.
- Diseñar elementos y componentes mecánicos estructurales requeridos para la máquina semiautomática.
- Evaluar el diseño de elementos críticos y el rendimiento térmico del sistema de cocción, tomando en cuenta las propiedades físicas de los materiales utilizados mediante simulación con softwares especializados.
- Evaluar el desempeño de la máquina mediante la prueba de funcionalidad.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Origen de los donuts

Los donuts son uno de los alimentos más populares de todos los tiempos. Son dulces, deliciosos y puedes comerlos sobre la marcha. Las rosquillas han existido durante cientos de años, sin embargo, su verdadero origen e invención se debate ya que la masa frita no es exclusiva de una sola cultura. Se desconoce el lugar exacto donde se hicieron los primeros donuts y nadie sabe quién hizo el primer donut. Sin embargo, hay ciertos eventos en la historia que nos dan una idea de dónde se inventaron las donas por primera vez [3].

Una de estas versiones la más acertada se remonta a los siglos XVIII y XIX, y ha sobrevivido gracias a la tradición de los colonos holandeses que tocaron puerto en Nueva Amsterdam (conocida en esa época como la actual Manhattan) llevando consigo la receta de los olykoecks (bollos fritos en aceite), típicos de los Países Bajos, y ampliamente consumidos en las celebraciones navideñas. Uno de aquellos emigrantes holandeses fue Elizabeth Gregory, madre del capitán de un barco mercante. Ella preparaba los olykoecks según su receta personal, en la que en el centro de la masa— elaborada con leche, mantequilla, harina, azúcar y huevos— incluía una porción de nueces y otros frutos secos. Pero el mítico agujero de la rosquilla o doughnut (literalmente, ‘masa de nuez’), hay que atribuírselo a su hijo, el capitán H. Gregory, quien lo ideó en 1847 [4].



Figura 1. Escultura del capitán Hanson Gregory [4].

## 1.2. Proceso de elaboración

Las donas para hornear que se fabrican de manera artesanal e industrial, que van hacer distribuidas en tiendas de comestibles, panaderías o franquicias a menudo provienen de mezclas pre-enzasadas. Dichas mezclas que el usuario agreguen ingredientes frescos y húmedos, como agua, levadura, leche y huevos en el proceso de mezcla [5]. Para el proceso de elaboración de la masa se debe tener en consideración ciertos aspectos importantes que influyen en el proceso, que la levadura junto a los demás ingredientes requiere tiempo para amasar, tiempo para descansar y tiempo adicional para aumentar su volumen, se necesita al menos una hora para llevar la mezcla pre-empaquetada seca al producto terminado. Generalmente las donas también requieren aceite vegetal para su cocción. En cuanto al glaseado este se lo realiza después de que el producto haya concluido su tiempo de cocción, y se lo puede hacer solamente con harina, azúcar, saborizantes y, en ocasiones, manteca [5].

### 1.2.1. Ingredientes

Los ingredientes son una mezcla de varias especies de una manera homogénea. Que se pueden encontrar comúnmente en cualquier tienda, para el tipo y cantidad de donut que se va a realizar. La mezcla homogénea se vierte en una balanza y se mide la cantidad precisa [5]. El tipo de donuts es de 10 cm en su diámetro y para una cantidad total de 316 unidades por hora en la Tabla 1 se muestra los ingredientes a utilizar [6].

Tabla 1. Ingredientes para la fabricación de 12 Kg/h en donuts.

<b>Ingredientes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>Dimensional</b>		
Harina	15,8	Kg
Sal	79	g
Azúcar	2765	g
Manteca	1185	g
Canela molida	16	Cucharadas
Levadura	790	g
Aceite	15,8	L
Huevos	32	Unidad
Agua	7,9	L

### 1.2.2. Preparación de la masa

Para comenzar a realizar la masa, se deberá mezclar uniformemente en un recipiente la harina, azúcar, sal y levadura. Posteriormente hacer la mezcla adicionando mantequilla derretida, junto con los huevos. Hay que mezclarlo todo muy bien para juntar los ingredientes consistentemente y no queden grumos. Luego, se procede a verter agua poco a poco y sin dejar de mover. Visualizar una mezcla más sólida, entonces a amasar con las manos.

Al constatar que la masa no se quede pegada en tus manos, bolearla y dejar a reposar durante una hora y por la levadura duplicará su volumen. Cubrir la masa con un paño limpio o papel film para evitar contaminaciones de la masa [7].



Figura 2. Preparación de la masa [7].

### 1.2.3. Formación del donut

Para la formación de donuts antiguamente se empleaba muchos métodos artesanales, hoy en día se emplea el método dosificador por peso, usadas en las características físicas y de forma del producto al poseer diversidad. Habitualmente se dosifican por peso productos como los pasabocas, tipo snacks, papas fritas, patacones fritos, trocitos, chicharrones y otros más. El principio básico de dicho método consiste en dividir el suministro de producto proporcionado por una tolva de recepción y almacenamiento de masa, hasta alcanzar el peso exacto, mediante un sistema de Biela-Manivela de extrusión, el producto cae a través de la boquilla hacia el interior de la freidora [8].

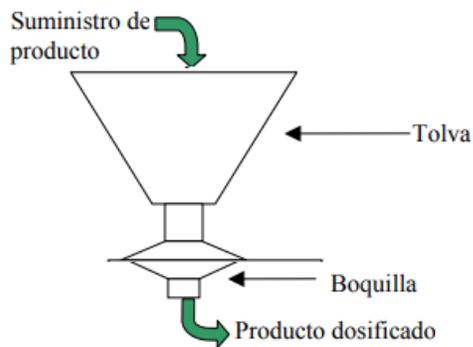


Figura 3. Partes de un dosificador [7].

#### 1.2.4. Cocción de donuts

La etapa de cocción de donuts consiste básicamente en sumergir la dona en aceite de girasol en una freidora de 5L con calentamiento por resistencia eléctrica a altas temperaturas o por medio de un sistema de combustión por gas y a presión atmosférica, cuando se alcanza la temperatura deseada entre 160 °C a 165 °C, La discordancia de temperatura entre el producto de consumo y el aceite desencadena la cocción que involucra la transferencia simultanea de calor y masa, El alimento pierde un porcentaje de agua por evaporación al recibir calor del aceite. [9].

Simultáneamente las propiedades termo físicas, químicos y nutricionales del producto frito cambian con la variación de temperatura, tiempo y de humedad suscitados al interior del mismo, En estos cambios interviene la humedad, tipo de alimento, calidad de aceite, temperatura en el proceso y finalmente la residencia del producto en el aceite caliente [10].



Figura 4. Cocción de donuts [10].

### 1.2.5. Enfriamiento del producto y decorado

En el proceso de enfriamiento de donuts después de ser sometidas al proceso de cocción a una temperatura ideal, se debe depositarlas en un coladero para que escurran y sequen el exceso de aceite sobrante en un tiempo de 5 min como máximo, después sobre un plato extendido se procede a decorarlas de acuerdo al gusto del consumidor [11].



Figura 5. Enfriamiento y secado de donuts [11].

### 1.3. Descripción de la máquina semiautomática para fabricación de donuts de Ø 10cm a razón 12 kg/h.

La máquina semiautomática para fabricación de donuts de Ø 10cm es de acero inoxidable en su totalidad, por varios sistemas los cuales los más principales son los de formación, control y cocción. Para el proceso de elaboración de los donuts se suele emplear una fuente de calor que en la mayoría de los casos se trata de una freidora. El equipo está diseñado para ser utilizado en un piso, mesa fija o encimera, con el operador de pie frente a la cabeza del calentador de la máquina. El operador debe trabajar de manera segura en todo momento y regular los diferentes elementos acordes a lo indicado por el diseño [12].



Figura 6. Máquina Semiautomática para fabricación de donuts [12].

#### 1.4. Descripción del sistema mecánico.

El sistema mecánico es la combinación de mecanismos que constan de componentes y elementos resistentes conectados por medio de articulaciones móviles y que tienen como principal función transformar y transmitir: velocidad, movimiento y fuerza para realizar un determinado trabajo, desde la parte motriz a un elemento receptor. En la tabla 2. Se muestran la clasificación de mecanismos según su tipo y función [13].

Tabla 2. Clasificación de los principales mecanismos.

Tipo	Función	Mecanismo	Accesorio
Mecanismos de transmisión del movimiento	transfiere el movimiento, fuerza y la potencia producidos por un elemento motriz a otro punto.	Transmisión lineal	Polea Palanca
		Transmisión circular	Ruedas de fricción Sist. de correa – polea Engranajes Cadenas
Mecanismos de transformación del movimiento	Transforman el movimiento circular en rectilíneo, o de rectilíneo a circular	Transmisión de movimiento circular rectilíneo o viceversa	Manivela – torno Piñón – cremallera Tornillo – tuerca Tornillo sin fin
		Mecanismos de transformación del movimiento circular en rectilíneo alternativo o viceversa	Biela – manivela Cigüeñal Leva – excéntrica
Mecanismos auxiliares	Sirven para modificar o controlar algunos parámetros de movimiento, como permitir el giro en un solo sentido, reducir la velocidad de giro, absorber la energía y permitir el acoplamiento de ejes y árboles de transmisión.		Frenos Resortes Embragues Acoplamientos

### 1.4.1. Sistema de transmisión.

Para el sistema de transmisión que contiene el equipo está subdividida como se muestra en la Figura 7. Por medio de poleas, la principal es la conductora (motor) y la conducida (paletas) situadas a cierta distancia, con ejes normalmente paralelos que giran simultáneamente para transmitir fuerza y velocidades angulares mediante una correa. La fuerza ejercida se transmite por el efecto de rozamiento que ejerce la correa sobre la polea [14].

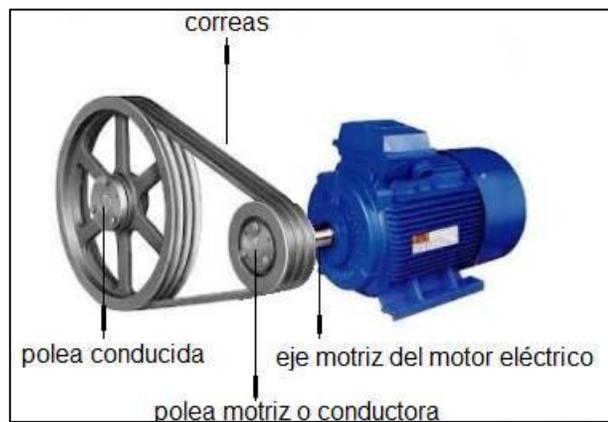


Figura 7. Sistema de transmisión polea – correa [14].

#### 1.4.1.1. Motor eléctrico

Elemento que realiza un cambio de energía eléctrica a energía mecánica. Todo este proceso ocurre al introducir una corriente en la maquina por medio de una fuente, produce una interacción con el campo magnético produciendo un movimiento de la maquina; por la aparición de una fuerza electromotriz oponente a la corriente y que por ello se denomina fuerza contra electromotriz [15].

#### 1.4.1.2. Sistema de transmisión por catarinas-piñón.

El sistema de transmisión por catarina son usadas comúnmente para transmitir movimiento entre dos ejes paralelos, según la configuración que se realice a los elementos que se la componen, pueden variar la función del sistema, es decir, el sistema puede transmitir movimiento entre dos ejes, se puede modificar la velocidad más no el sentido de giro y puede servir como un sistema de elevación o como sistemas transportadores [16].

Este sistema por catarinas es uno de los métodos más usados para poder transmitir potencia mecánica, ya que sus ruedas dentadas ayudan a que la cadena no resbale. Esta forma de trabajar da una mayor capacidad de transmisión y les hace más confiable.

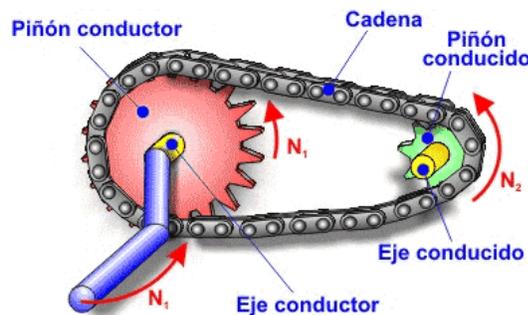


Figura 8. Sistema de transmisión por catarinas [16].

En la Figura 8. Se muestra dos ruedas dentadas un piñón conductor y un piñón conducido unida céntricamente por una cadena, todo este sistema transmite movimiento por medio del empuje generado entre los eslabones de la cadena y los dientes de cada rueda dentada, evitando que la cadena se salga de las ruedas dentadas, empleando varios mecanismos de tensión para obtener una tensión constante en la cadena [16].

Las cadenas utilizadas generalmente en transmisión, se pueden mover libremente en una sola dirección por lo que tienen que engranar correctamente con los dientes de los piñones. Una cadena básicamente está compuesta por un eje principal que es el pasador, un rodillo y varias placas laterales como se muestra en la Figura 9.

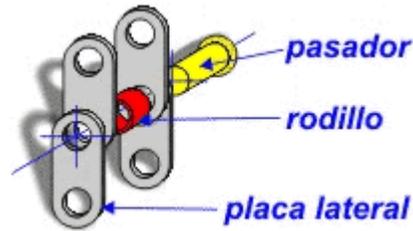


Figura 9. Partes de una cadena [16].

Las principales ventajas de utilizar este sistema por catalina-piñón, es tratar de mantener su relación de transmisión constante por lo que no hay deslizamiento. Transmiten grandes potencias entre el piñón conductor y conducido, lo que se obtiene mayor eficiencia mecánica y rendimiento. A comparación de un sistema con correa.

#### 1.4.2. Sistema de transformación. (Biela manivela)

El mecanismo biela manivela ilustrado en la Figura 10. Muestra una carrera  $B_1B_2$  igual al doble de radio de la manivela  $r_2$ . Las posiciones límites  $B_1$  y  $B_2$  trazan arcos de círculo con centro en  $O_2$  y de radio correspondiente a  $r_3 - r_2$  y  $r_3 + r_2$  respectivamente. En general, el mecanismo centrado de corredera y manivela tiene a  $r_3$  más grande que  $r_2$ . Las trayectorias generadas por puntos sobre el acoplador del mecanismo no son elípticas, pero si son simétricas al eje de desplazamiento  $O_2B$  [17].

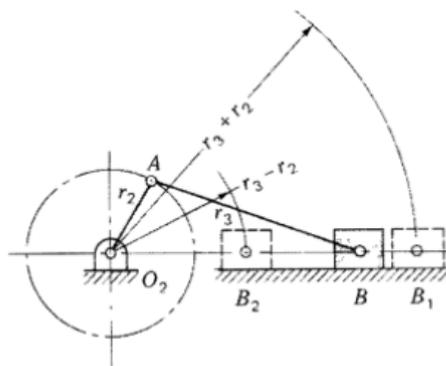


Figura 10. Mecanismo centrado biela y manivela [17].

### 1.4.3. Métodos de formación de donuts.

El sistema completo para la de formación de donuts está estructurado por varias partes, por un dosificador el cual consta de tres partes principales: la tolva de almacenaje, el dosificador y la boquilla o tubo de descarga, existe variación según el diseño de la máquina [8]. En la actualidad hay varios métodos artesanales e industriales para realizar la forma de un dona, el método de lámina-corte y el método más conocido como el de extrusión mediante un dosificador. El equipo de extracción es usado por donas blandas y el método de lámina-corte se usa en general para donas con masa fermentada [10].

#### 1.4.3.1. Método de lámina-corte.

Este método consiste en estaciones de corte que ofrecen eficiencia y flexibilidad para aplicaciones de alto volumen. Los diseños de las máquinas varían, a necesidad del producto a procesar, y facilita el cambio de producto y el corte preciso [18]. El objetivo principal del corte es eliminar el gas carbónico del interior de la masa durante los primeros minutos de cocción. Generalmente la presión y trabajo de la levadura debilitan un punto del producto permitiéndose liberarse al exterior en el proceso de expansión suscitado por el gas carbónico [19].

La estación de corte motorizada mostrada en la figura 11 contiene un cortador eléctrico para un corte eficiente y rápido de productos. Un motor de accionamiento, engranaje reductor y conjunto de engranajes impulsan el cortador. Un rodillo de goma, ubicado dentro del gabinete debajo del transportador, proporciona la superficie de corte óptima y se puede subir o bajar neumáticamente desde la interfaz del operador. Seguridad enclavada las protecciones impiden el acceso a los componentes durante el funcionamiento [18].

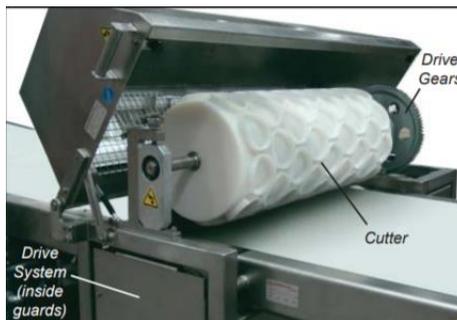


Figura 11. Estación de corte motorizada [18].

### 1.4.3.2. Método de extrusión.

Denominado al proceso de transformación en la que un material está sometido a fuerzas que obligan a cruzar una boquilla para producir un producto constante y de longitud indefinida [20]. La masa viene de un proceso de mezcla anterior y se carga en la tolva de la máquina que forma las rosquillas individuales mediante un cortador de presión. El lote de masa de levadura se coloca en la parte superior, la máquina se presuriza, forzando la masa en tubos que extruyen una cantidad predeterminada en la forma deseada: anillos para donas convencionales [5].

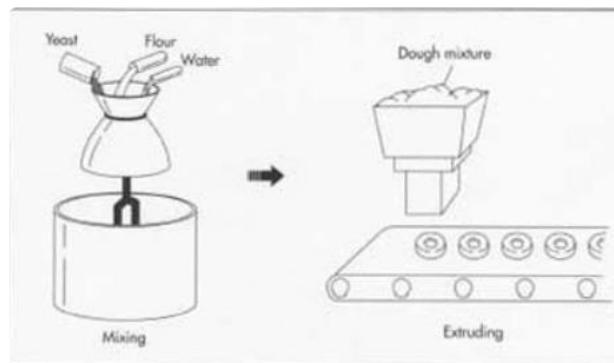


Figura 12. Extrusión de masa para donuts [5].

Las características del material son muy importantes en la tolva, ya que influyen sobre el traslado de sólidos en la máquina. La diferencia de compresión que está sujeto el material varía por zona considerándose mejor una tolva con sección circular que una tolva con sección cuadrada o rectangular [20].

### 1.5. Sistema de automatización

En el sistema de control y automatización, existen tareas de producción desarrolladas en su mayoría por operadores, que están compuestas por un conjunto de elementos tecnológicos. Con la principal función de realizar la producción a mayor escala y mejorar la calidad del producto a costos muy bajos. Un sistema automatizado está subdividido por dos partes: mando y de operación [21].

### 1.5.1. La Parte Operativa.

La parte operativa está compuesta por elementos que trabajan directamente sobre el equipo. Logrando que la máquina realice la operación deseada. Conformado generalmente por elementos accionadores de máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

### 1.5.2. La Parte de Mando.

Son sistemas de tecnología programable, como por ejemplo relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos. La parte central del sistema es el autómata programable. La característica principal es la comunicación que enlaza a los diferentes constituyentes del sistema automatizado [21].

Un sistema de automatización automático o semiautomático, consta principalmente de tres partes: los transductores, el sistema de control y los actuadores.

### 1.5.3. Transductores.

Su principal objetivo es modificar una variable como fuerza, velocidad, presión y temperatura en otro tipo de variable. Lo más utilizados en el mercado industrial son los transductores a tensión aplicados a fuerza y presión; en temperatura los termopares, para velocidad los velocímetros entre otros [22].

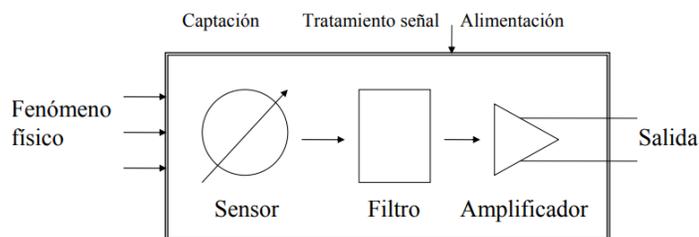


Figura 13. Estructura de un transductor [22].

Considerando la forma de señal convertida los transductores se catalogan en dos tipos básicos denominados:

- Analógicos
- Digitales

### **1.5.3.1. Transductores analógicos.**

La proporción de señal analógica es continua, como por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede catalogarse como el valor de la variable física que se mide [22].

### **1.5.3.2. Transductores digitales.**

Produce una señal de salida digital, dichas señales representan el valor de la variable medida. Posee amplia ventaja en comunicación a equipo digital que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos [22].

### **1.5.4. Actuadores.**

Dispositivo mecánico, su principal función es dar fuerza para mover o accionar otro dispositivo mecánico, en un proceso automatizado transforma la energía hidráulica, neumática o eléctrica en trabajo. Recibe señal de orden por un regulador o controlador y en función a eso generar una señal que active un elemento final de control, por ejemplo una electroválvula [23].

En la tabla 3. Se muestra la clasificación de los actuadores y su aplicación en la industria.

Tabla 3. Clasificación de los actuadores.

<b>Tipo</b>	<b>Aplicación</b>
Mecánicos	Generar movimiento
Eléctricos	Aparatos mecatrónicos
Hidráulicos	Cuando se necesita potencia
Neumáticos	Son simples posicionamientos
Electromecánicos	Transportar y modificar señales
Electrónicos	Aparatos mecatrónicos

## 1.6. Sistema de control.

Un sistema de control o varios son la interacción de componentes a la vez que cumplen un trabajo en específico, que es el manejo controlado del cambio de variable de salida por medio de variaciones en dichas variables de entrada de una manera autónoma o por medio de la intervención de un operador. Los sistemas se clasifican en dos partes: los no realimentados y realimentados [24].

### 1.6.1. Sistema en lazo cerrado.

Son sistemas de control realimentados, este tipo de lazo cerrado trabaja de tal manera que provoca que todos los sistemas se realimenten. Controlando cualquier variable de velocidad, presión, caudal entre otros. son parámetros de control de lazo cerrado siempre que retorne la información [24].

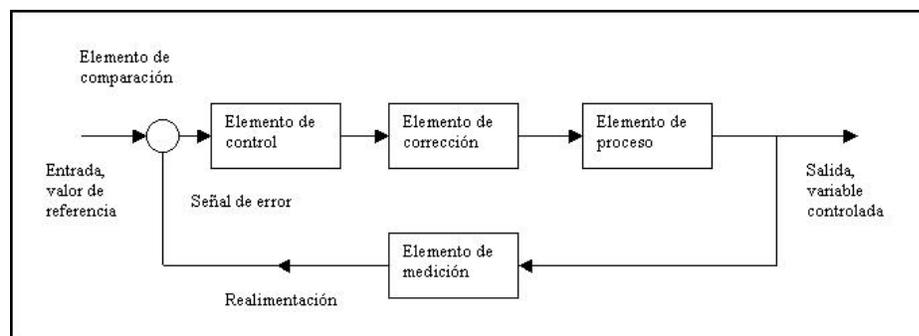


Figura 14. Elementos de control de un sistema de lazo cerrado [24].

En la Tabla 4. Se muestra los requerimientos del sistema de control necesarios para la fabricación semiautomática de donuts.

Tabla 4. Componentes de automatización y control.

Componente	Requerimientos
Bombilla	Para que indique si existe corriente
Botonera	Encendido y apagado
Temporizador	Para normalizar el producto
Perrilla	Regulador de velocidad y de altura
PLC	Programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real
Contador	Número de donas fabricadas
Sensor Temperatura	Alcanzar la temperatura ideal

### 1.6.2. Sensor de temperatura Pt 100 WTR 120.

El sensor utilizado para el control de temperatura en la fabricación de donas es un sensor de temperatura Pt 100 WTR 120 robusto con rosca de sujeción. En la figura 15. Muestra al sensor que puede conectarse directamente mediante su rosca de 1/2" en tuberías o recipientes de la armadura de acero inoxidable. La sonda Pt 100 es de 3 hilos y tiene la posibilidad de conexión al transductor KMU 100 obteniendo un rango desde 50° C hasta +400 °C soportando altas temperaturas y altas cargas mecánicas [25].



Figura 15. Sensor de temperatura Pt 100 WTR 120 [25].

### 1.6.3. Válvula Solenoide 8210G95

En la Figura 16. La válvula solenoide está fabricada por un material altamente resistente, ofreciendo altas presiones, una larga vida de servicio y bajo nivel de fugas internas. Es una válvula de alto caudal para líquidos, fluidos corrosivos y servicio de aire/gas inerte. Sus principales aplicaciones son utilizadas en bombas, lavadoras industriales y compresores [26].



Figura 16. Válvula Solenoide 8210G95 [26].

## 1.7. Sistema eléctrico de la máquina.

Para la operación de los diferentes controles de funcionamiento hay que asegurarse de que la máquina de donut haya sido conectada a la fuente de alimentación correcta monofásica o trifásica posteriormente proceder al accionamiento de los diferentes interruptores [12].

### 1.7.1. Corriente alterna trifásica

Las formaciones de tres sistemas monofásicos conllevan al sistema trifásico de tensiones  $U_1$ ,  $U_2$  y  $U_3$  tales que el desfase entre las mismas sea de  $120^\circ$ , o sea, los “atrasos” de  $U_2$  en relación a  $U_1$ , de  $U_3$  en relación a  $U_2$  y de  $U_1$  en relación a  $U_3$  sean iguales a  $120^\circ$  durante un ciclo. El sistema es equilibrado si las tres tensiones tienen el mismo valor eficaz  $U_1 = U_2 = U_3$  [27].

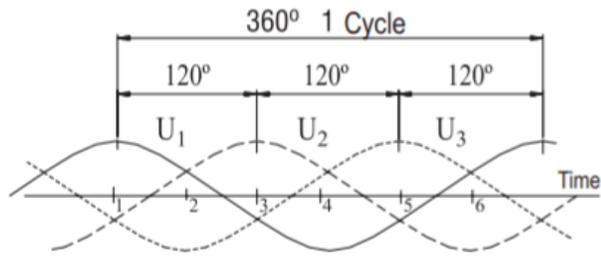


Figura 17. Grafica sistema trifásico [27].

## 1.8. Proceso de Cocción

El volumen que alcanza la dona depende principalmente de la cantidad de aceite en la cocción y su capacidad para transferir dicho calor a la masa. Al momento de alcanzar una temperatura ideal y distribuirse consistentemente en toda la freidora. El aceite no puede calentarse demasiado rápido o durante demasiado tiempo o comenzará a degradarse, y luego no podrá hacer el trabajo. Por el motivo que se desprenden sedimentos de la dona y el aceite debe refrescarse para dar un sabor limpio a una dona terminada [28].

Para conseguir un producto de calidad e higiénico la freidora debe tener una estructura sólida en acero inoxidable, un tanque de almacenamiento donde el aceite es calentado y está construido para poder resistir cargas termo mecánicas.

El piloto del quemador tiene inyectores ajustables para garantizar la temperatura mediante un termostato el cual controla la ignición y apagado de los quemadores [29].

### 1.8.1. Freidora

Una freidora es un electrodoméstico usado generalmente en la cocina con el fin de freír alimentos en aceite caliente, a una temperatura óptima y rápida para la cocción, por lo que es de gran ayuda para la preparación de alimentos fritos ya sean patatas fritas, carne o repostería [30].



Figura 18. Freidora de donuts [31].

### 1.8.2. Quemador

El quemador es un equipo donde se realiza la combustión y la transferencia de calor hacia el recipiente donde se encuentra el aceite, por tanto, deben contener un sistema de distribución de combustible con una adecuada ventilación de ingreso y salida de aire para así obtener una correcta combustión [32].



Figura 19. Quemador a gas [33].

### 1.8.3. Poder Calórico GLP

Del grupo de hidrocarburos derivados el gas licuado de petróleo o GLP se encuentran en estado gaseoso a temperaturas ambientales y presiones atmosféricas, volviéndose muy impredecibles cambiando su estado a líquido ya sea por una variación de temperatura o de presión. El GLP posee elevada vaporización, aunque es incoloro, inodoro y no tiene sabor en sus dos formas más comunes líquida y gaseosa, lo cual por seguridad tiene añadida una pequeña cantidad de sustancia para poder olerla y así poder identificarla si existe algún tipo de fugas [34].

Tabla 5. Propiedades y composición del GLP

<b>GLP</b>	<b>Propiedades</b>
Gravedad específica	0.5 @ 20° C
Densidad del Vapor	1.55 (Aire=1)
Presión de Vapor a temperatura ambiente	-40 °C a 80 °C
Punto de congelación	-104 °C (-156 °F)
Auto encendido	450 °C
Composición de Hidrocarburos (Por Volumen)	
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	30%
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	70%
Densidad relativa	1.85
Poder Calórico	49.5 MJ/kg (21 300 Btu/lb)
Poder Calórico Neto	45.7MJ/kg (19 600 Btu/lb)

### 1.9. Especificaciones de Normativa

Las distintas operaciones a las que los productos son sometidos deben garantizar la correcta eliminación de agentes contaminantes y así poder erradicar la contaminación durante el manejo, extrusión y cocción de donas [35]. Los consumidores esperan, que los alimentos sean más seguros e higiénicos para el consumo. Unos alimentos que no sean seguros pueden causar enfermedades alimenticias que en el mejor de los casos pueden ser desagradables y en el peor mortal [36].

La norma de la industria alimenticia tiene relevancia a la hora de ayudar a las empresas del sector a producir de una manera sistemática productos alimentarios seguros y que cumplan con lo que establece la ley. Las normativas no son sustitutas de la legislación, sino que ofrece una interpretación para su aplicación [36].

### **1.9.1. Lugar de ocupación e instalaciones para la maquina**

Según establece la normativa técnica sanitaria para alimentos procesados, establece en uno de sus artículos que la construcción e instalación de equipos alimenticios deben ofrecer protección contra polvo, insectos, roedores, aves y otros elementos del ambiente exterior que puedan afectar tanto al alimento como al equipo. Las condiciones sanitarias establecidas según el proceso son de carácter obligatorio. La construcción debe proveer facilidad de instalación, operación y mantenimiento a los equipos; Fácil movilidad del personal, estructura sólida y traslado de materiales o alimentos [37].

Por otro lado, para las instalaciones eléctricas como es el cableado y las tuberías de servicios no deben obstruir la limpieza del área. Especialmente en el piso donde el flujo de agua deberá evitar la acumulación de residuos, agua y de existir sumidero debe tener su rejilla en buen estado y mantenerse en condiciones sanitarias que eviten la contaminación [37].

### **1.9.2. Materiales para contacto con alimentos**

En el mercado existen una variedad de materiales utilizados en la construcción y fabricación para diferentes aplicaciones en equipos alimentarios. Estos materiales varían en sus propiedades con respecto a características de trabajo, compatibilidad y diseño sanitario. Dependiendo de la aplicación, varios metálicos y no metálicos utilizados [38].

#### **1.9.2.1. Acero inoxidable**

Es el metal de uso adecuado para el contacto de superficies con alimentos debido a sus propiedades internas como es la alta resistencia a la corrosión y durabilidad. Sin embargo, no todos los aceros inoxidables tienen las mismas aleaciones por lo tanto no son iguales. En general, las propiedades de las aleaciones de acero inoxidable están relacionadas con su composición respecto al nivel de cromo y níquel [38].

#### **1.9.2.2. Aluminio.**

Se usa en ciertas partes y componentes donde se desea un peso más ligero. Sin embargo, el aluminio tiene resistencia a la corrosión pobre y puede llegar a picarse y agrietado con el uso continuo. El momento de trabajar con aluminio se debe tener mucho cuidado en la limpieza y desinfección de componentes de aluminio como oxidantes. Los productos químicos pueden acelerar la picadura del metal [38].

## CAPITULO II

### 2. Estudio de Alternativas

A continuación, estudiaremos a detalle cada alternativa para posteriormente evaluar su rendimiento, mantenibilidad, funcionalidad entre otros, que permiten tomar la decisión más idónea y facilitar el diseño de la máquina.

#### 2.1. Máquina automática industrializada fabricadora de donuts (Alternativa 01)



Figura 20. Máquina automática industrializada para fabricación de donuts [39].

##### 2.1.1. Análisis de alternativa

La máquina automática industrializada para fabricación de donuts tiene una alta producción gracias a su diseño de doble leva que proporciona una producción en serie extrayendo la masa desde sus dos tolvas. Está diseñada para regular el tamaño de la dona a través de una perilla de ajuste del cabezal de corte. Cuando el bateador se mueve hacia abajo, un sistema de accionamiento mecánico con señal eléctrica abre y cierra los émbolos, "cortando" la mezcla en una fila de producto y depositándola en la freidora. La máquina automática industrializada se sincroniza electrónicamente con la freidora para que cada corte caiga en un recipiente y se registre en el panel de control de la freidora.

##### 2.1.2. Ventajas:

- El diseño "doble leva" proporciona un funcionamiento confiable y duradero para una producción en grandes cantidades.
- Varía la cantidad de producto que desee con una amplia gama de cilindros y émbolos de formación.

- El nuevo diseño del cabezal cortador permite que solo el cabezal afectado se desenganche si se produce un atasco, la producción en el equipo puede continuar hasta que la masa restante se haya ido, lo que elimina las paradas ineficientes.
- Su estructura hecha de acero inoxidable alarga su vida útil, así como también evita la corrosión en el material [40].

### 2.1.3. Desventajas:

- Su costo es muy elevado y sus repuestos son muy escasos en el mercado ya que está hecha de acero inoxidable en su totalidad siendo un producto importado.
- El equipo es más robusto tiene mayor exigencia de espacio para su instalación.
- El trabajo depende de un sistema automático mecánico, eléctrico, neumático y de control el cual su mantenimiento es muy elevado [40].

## 2.2. Máquina semiautomática para fabricación de donuts (Alternativa 02)



Figura 21. Máquina semiautomática para fabricación de donuts [31].

### 2.2.1. Análisis de alternativa

La máquina semiautomática para fabricación de donuts tiene una producción de donas de alta calidad bien formadas consistente y redondas desde el primer momento, además tiene un sistema sincronizado por el control de velocidad desde el panel, los elementos como tolva, embolo, transportador y quemador son removibles para facilitar su limpieza y mantenimiento además están construidos de acero inoxidable para una mejor salubridad [31].

### **2.2.2. Ventajas:**

- La capacitación y entrenamiento se reducen al poseer un sistema semiautomático.
- El sistema de cocción sincronizado permite una menor absorción de aceite en las donas, obteniéndose un producto más saludable y de buena calidad.
- Tamaño del donut ajustable dentro de un rango considerable al igual que su forma.
- Los elementos que conforman la máquina son desmontables para una mejor limpieza y mantenimiento.
- El peso de la máquina es de 80 kg facilitando su transporte e instalación en el área de trabajo.
- El controlador electrónico permite tener la temperatura dentro del rango adecuado para la cocción de los donuts [41].
- Fácil de operar alta eficiencia y sistema estable [42].

### **2.2.3. Desventajas:**

- Al requerir mayor capacidad es necesario alargar la freidora en un 50% a la dimensión base esto implica mayor espacio de operación.
- La masa para los donuts debe llegar mezclada y reposada para el proceso de formación en la tolva.
- La carga de masa para donuts en la tolva es limitada, es decir que para producciones elevadas requiere varios paros de producción para recargar.
- Requiere de un proceso posterior de glaseado y empaquetado para obtener el producto final que va dirigido al consumidor [41].
- Se debe realizar paradas en la producción para limpieza y drenaje del aceite insoluble.
- El coste de la máquina es elevado entre los 4 000 \$ por estar hecho en inoxidable y su sistema semiautomático [42].

### 2.3. Máquina con manivela para fabricación de donuts (Alternativa 03)



Figura 22. Máquina con manivela para fabricación de donuts [43].

#### 2.3.1. Análisis de alternativa

La máquina con manivela para la fabricación de donuts es un modelo clásico su ciclo de vida a menudo se mide en décadas, sabes que estás tratando con un verdadero estándar de la industria. Amados por los fabricantes de donuts de todo el mundo por su funcionamiento suave, consistente y sin problemas, incluso en condiciones difíciles.

Algunos profesionales de donas lo llaman un "cuentagotas de donas". Está diseñado para depositar con precisión exactamente la misma cantidad y forma de masa cada vez, a una tasa de 60-100 donas por minuto. El resultado es donas consistentes y hermosas con un control superior de las porciones [44].

#### 2.3.2. Ventajas:

- Diseñado de forma duradera llega a tener una vida útil en décadas y su sistema permite tener un volumen de la donut casi constante.
- El sistema de manivela manual permite depositar más de 80 donuts por minuto adicional permite ajustar el tamaño y forma de los donuts.
- Facilidad de adaptación a otras freidoras por su columna desmontable inclusive puede adaptarse a la pared [43].
- No requiere fuente eléctrica.
- El costo de la máquina es de 1 640 \$ con el modelo más básico.
- El cuerpo de la máquina es de acero inoxidable permitiendo su uso comercial en restaurantes, cafeterías, panaderías entre otros [45].

### 2.3.3. Desventajas:

- El equipo es más robusto tiene mayor exigencia de espacio para su instalación.
- A demanda de donuts alta debe tener sistemas optimizados tanto en el abastecimiento de masa preparada y en el glaseado en las donas entregadas por la máquina.
- El trabajo depende en gran medida de la habilidad del operador u operadores, generando contratiempos, costos adicionales a la fabricación y tiempos muertos.
- El poder competitivo con las grandes empresas por la capacidad de reducir sus precios sin siquiera reducir la calidad de las piezas fabricadas es muy bajo [46].

### 2.4. Identificación de necesidades

El punto de partida es identificar las necesidades para el reconocimiento; las expresiones de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad puede ser una inconformidad, un sentimiento de inquietud o la sensación de que algo no está bien. No es evidente pero el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea [47]. Para la fabricación de donuts se ha considerado las siguientes necesidades:

- **Rendimiento:** Está relacionado con la capacidad de producción con calidad de producto en este caso es a razón de 12 kg/h.
- **Económico:** Enfocado a la rentabilidad y generación rápida de una recuperación de la inversión inicial.
- **Confiable y seguridad:** Los estándares de producción alimenticia exigen seguridad y confianza al momento de operar la máquina.
- **Mantenimiento:** El equipo debe ser de fácil mantenimiento y de bajo costo para garantizar el cumplimiento de su vida útil.
- **Impacto ambiental:** Correspondiente al uso adecuado de los recursos minimizando el daño al medio para la fabricación de donuts genera menos impacto ambiental [48].

## 2.5. Selección de la mejor alternativa

La selección de la mejor alternativa se realiza con el método de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM, por sus siglas en inglés) generalmente requieren que quien toma las decisiones evalúe alternativas con respecto a los criterios de decisión y también que asigne ponderaciones de importancia a los criterios. Luego, en función de las ponderaciones asignadas, se puede seleccionar la mejor alternativa [49].

Para realizar una ponderación adecuada se ha designado el siguiente medio de evaluación:

- Excelente = 4
- Muy Buena = 3
- Buena = 2
- Mala = 1

Una vez conocido las alternativas, las necesidades y la valoración a utilizar empezamos a realizar la matriz de decisión consiste en una tabla que contiene las alternativas en los encabezados de las columnas, las condiciones futuras o necesidades en los encabezados de filas y las celdas contienen la valoración designada acorde a la recopilación de datos del análisis de cada alternativa [50].

Tabla 6. Evaluación de criterios por valoración.

Criterios	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
Rendimiento	4	3	3
Económico	2	3	4
Confiabilidad y seguridad	4	4	2
Mantenimiento	3	3	2
Impacto ambiental	1	3	2
Total, de Valoración	14	16	13

Tabla 7. Evaluación de criterios por participación.

Criterios	Participación	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
Rendimiento	20%	0,8	0,6	0,6
Económico	25%	0,5	0,75	1
Confiabilidad y seguridad	15%	0,6	0,6	0,3
Mantenimiento	30%	0,9	0,9	0,6
Impacto ambiental	10%	0,1	0,3	0,2
Total, de Valoración	100%	2,9	3,15	2,7

Realizado por: Salas y Calahorrano

Tras el análisis de la matriz de toma de decisiones se ha determinado que la máquina semiautomática para fabricación de donuts (Alternativa 02) tiene una mejor valoración en los criterios con un puntaje de 16 y la valoración realizada por participación muestra un 3,15 considerándose como la mejor opción para diseño en comparación que las otras alternativas que se refleja en la tabla 8.

Tabla 8. Desempeño de alternativas

	Valoración	Participación
Alternativa 01	14	2,9
Alternativa 02	16	3,15
Alternativa 03	13	2,7

Realizado por: Salas y Calahorrano

## CAPITULO III

### 3. Diseño Mecánico

#### 3.1. Sistema de Inyección

En este capítulo se refleja el sistema de inyección de la masa para la fabricación de donuts, para empezar con el análisis de diseño se realizó un estudio de mercado en las principales tiendas de venta de donuts del país. Obteniendo valores promedios tanto de diámetros internos, externos, y de espesor. Obteniendo el volumen de masa necesario para una razón de 12 KG/H, se tiene como resultado un tiempo de inyección de la masa, posteriormente se continúa con el diseño de los elementos que conforman todo el sistema de inyección.

##### 3.1.1. Volumen de inyección

Como primer paso para estimar el volumen de inyección, caracterizamos las medidas de un donut. Se realizó la medición de varias donas, adquiridas en diferentes locales de las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Quito. Las dimensiones fueron hechas con un calibrador digital pie de rey marca Mitutoyo, además de las dimensiones de diámetro externo, diámetro interno y espesor, se pesó a los donuts con una balanza digital para pastelería marca Gramera Sf400, obteniendo los valores de la Tabla 9 mostrados a continuación

Tabla 9. Dimensiones de donuts en tiendas en quito

Donut	D (mm)	d(mm)	W (gr)	Donut	D (mm)	d(mm)	W (gr)	Donut	D (mm)	d(mm)	W (gr)	
<b>1</b>	98	31	25	<b>11</b>	105	37	26	<b>21</b>	103	38	98	
<b>2</b>	104	36	28	<b>12</b>	103	30	24	<b>22</b>	104	30	93	
<b>3</b>	96	35	27	<b>13</b>	100	35	27	<b>23</b>	102	36	93	
<b>4</b>	100	32	25	<b>14</b>	103	38	24	<b>24</b>	99	34	99	
<b>5</b>	97	34	25	<b>15</b>	100	37	25	<b>25</b>	100	34	94	
<b>6</b>	97	32	29	<b>16</b>	104	37	24	<b>26</b>	103	31	108	
<b>7</b>	97	30	28	<b>17</b>	100	37	25	<b>27</b>	103	35	101	
<b>8</b>	97	32	29	<b>18</b>	100	30	27	<b>28</b>	105	30	96	
<b>9</b>	101	38	25	<b>19</b>	101	32	28	<b>29</b>	105	36	100	
<b>10</b>	102	33	28	<b>20</b>	97	33	27	<b>30</b>	100	32	106	
									Media	100,87	33,83	99,53
									desv. est.	2,76	2,74	4,98

Como las variables diámetro externo (D), diámetro interno (d), espesor (e), peso (W), tienen una distribución normal, las consideramos como variables continuas, por lo que para el dimensionamiento y diseño trabajamos con la media de estas dimensiones.

Tabla 10. Dimensiones de donuts

D (mm)	d(mm)	W (gr)
100,87	33,83	99,53

Con los parámetros obtenidos de la Tabla 10 se calcula el volumen promedio de un donut simulando como un toroide, con los diámetros externos e interno mediante el software Inventor obteniéndose sus propiedades físicas:



Figura 23. Diseño de un donut en el software Inventor [51].

Obteniendo un volumen de  $186573,4 \text{ mm}^3 = 1,87 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 186,57 \text{ cm}^3$ . Según lo experimentado por [52], la densidad de un donut  $= 526.9 \text{ kg/m}^3 = 0,5269 \text{ gr/cm}^3$ . Además debemos considerar la cantidad de aceite absorbido por la masa en el proceso de fritura, el mismo que depende de la temperatura del aceite, tiempo de fritura, [53] [54] [55] [52] recomiendan que la temperatura del aceite se mantenga en  $180^\circ \text{ C}$ , para garantizar una fritura adecuada y que la absorción de aceite no sobrepase el 15%.

Para el dimensionamiento se tomará en cuenta una absorción de aceite del 15% (que está en el rango aceptable, recomendado por [53], para alimentos a base de harina. Por lo que el volumen calculado (de una dona ya terminada) se lo reducirá en un 15% que sería el volumen de una dona cruda. De los datos mostrados, se calcula la masa de un donut crudo.

Tabla 11. Masa de un donut crudo

Donut frito (cm <sup>3</sup> )	Donut crudo (cm <sup>3</sup> )	Densidad donut (gr/cm <sup>3</sup> )	Masa de un donut crudo (gr)
186,57	158,58	0,5269	83,59

En el objetivo de este trabajo es tener una producción de 12 kg/h, por lo que con estos datos se dimensionará el recipiente porta masa.

### 3.1.2. Dimensionamiento del recipiente porta masa.

Para un periodo de inyección (trabajo) de 1 hora tenemos:

Tabla 12. Cantidad de volumen en 1 hora de trabajo

Masa total (gr)	Volumen total (cm <sup>3</sup> )	Volumen total (lt)
12000,00	22774,72	22,774

Es decir, el recipiente porta masa debe tener un volumen mínimo de 22,774 litros de capacidad, con la ayuda del software Autodesk Inventor se modela el volumen, y mediante iteración de medidas se dimensiona el recipiente porta masa.

Tabla 13. Dimensiones del recipiente porta masa

D1	D2	h1	h2	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Volumen (lt)
240	100	200	100	17540558.98	17.54
340	100	180	120	21356546.86	21.36
340	100	200	120	23172387.41	23.17

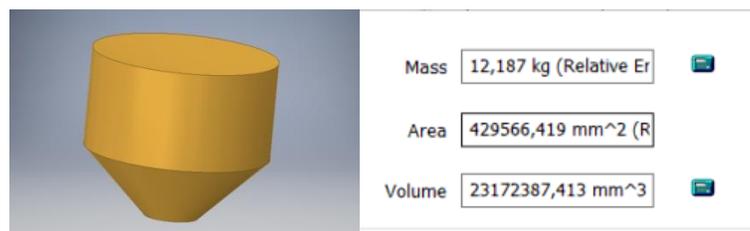


Figura 24. Modelado del volumen de masa [51].

Como se puede observar en la Figura 24. El volumen de producción para los donuts en 1 hora es cumplido por la tercera iteración de la Tabla 13 adicional a la altura total del recipiente se considera una sobre medida para evitar derramamiento de la masa y finalmente las dimensiones son las que se muestran en la Figura 25.

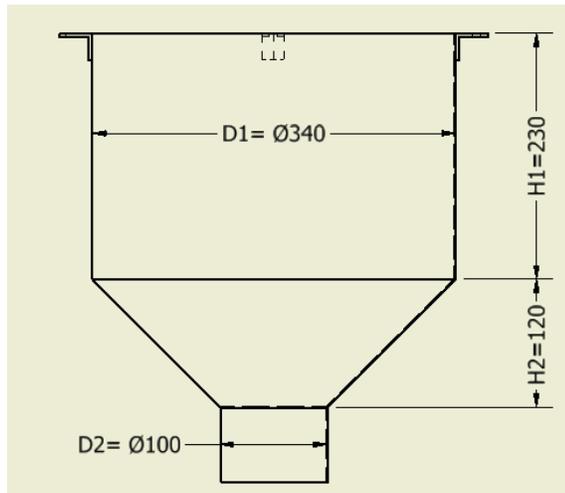


Figura 25. Dimensiones para el recipiente [51].

Es necesario evaluar la resistencia del recipiente para la carga uniformemente distribuida correspondiente a la carga máxima de masa 12 kg (117,72 N), distribuida en toda la superficie interna. Para lo cual se determina el área interna usando propiedades de inventor.

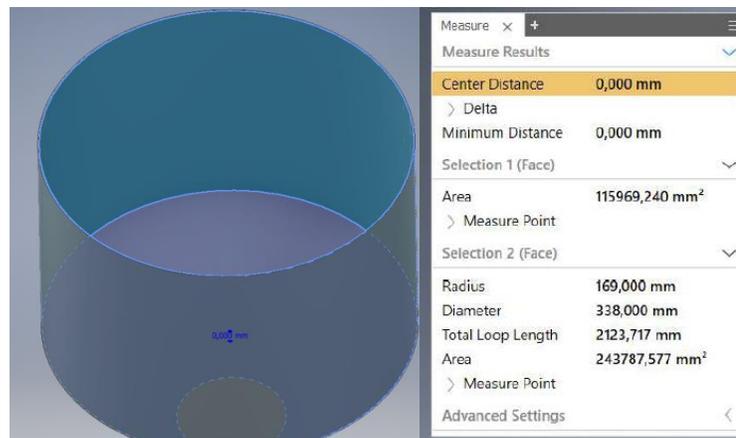


Figura 26. Superficie sometida a esfuerzo del cuerpo porta masa [51].

Obteniendo un área superficial de  $359756,81 \text{ mm}^2 = 0,35975 \text{ m}^2$ . Entonces la presión (carga distribuida) se obtiene de la Ec. (1):

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Al reemplazarse se obtiene:

$$p = \frac{117.72 \text{ N}}{0.35975 \text{ m}^2} = 327.23 \text{ Pa}$$

Mediante el análisis de resistencia en inventor con el criterio de esfuerzos permisibles ingresamos la carga obtenida considerando el espesor de la chapa en 1mm en acero inoxidable con propiedades obtenidas del Anexo 1.

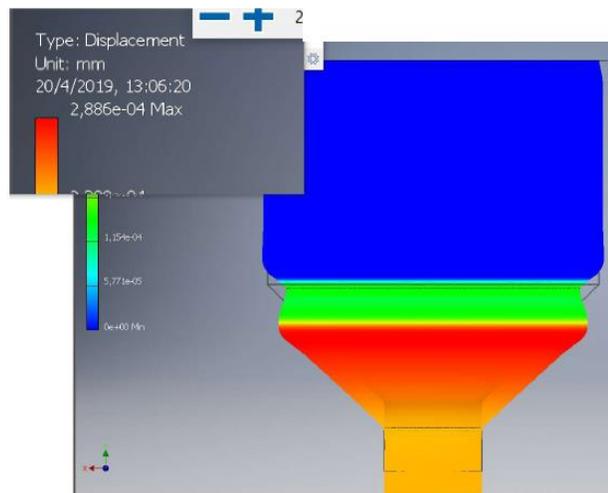


Figura 27. Simulación de desplazamiento [51].

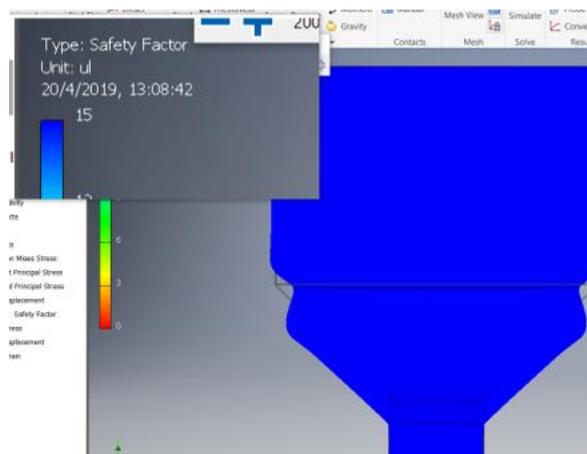


Figura 28. Simulación- coeficiente de seguridad [51].

Según la Figura 28. Se puede apreciar que los resultados de desplazamiento máximo  $2.88 \times 10^{-4}$  mm y un factor de seguridad de 15 en todo el cuerpo para un espesor de 1 mm en ese sentido el diseño es seguro.

### 3.1.3. Tiempo de inyección

Tomando como referencia que se debe inyectar 12 kg de masa por hora, estimamos cuantas donas se inyectan:

Tabla 14. Numero de donuts a inyectar

masa total/hora	masa 1 donut	Total, donuts/hora	Total, donuts/min
12000	83,6	143,54	2,39

Aproximadamente se deben inyectar 2,39 donuts por minuto, es decir 1 donut cada 24 segundos, de este tiempo se lo distribuirá de la siguiente forma:

Primero cada 20 segundos que lo denominaremos tiempo de separación (10 s) y caída (10 s) este tiempo nos garantiza que podamos acomodar el donut formada y que la dona anterior se aleje lo suficiente para que no exista sobre posición de donuts. Segundo cada 4 segundos será el tiempo de inyección (formación del donut crudo).

### 3.1.4. Cálculo de la velocidad de inyección

La longitud en la que se formará el donut es 70 mm = 0,07 m, que es el largo de la boca de salida del recipiente porta masa, tal como se muestra en la Figura 29. El tiempo estimado en recorrer esta longitud es 4 s (que se explicó anteriormente)

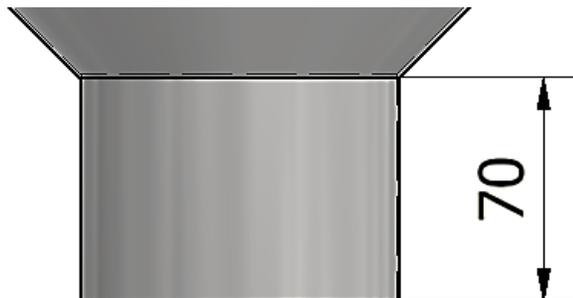


Figura 29. Carrera de la Inyección [51].

Para la obtención de la velocidad se utiliza la Ec. (2).

$$v = \frac{d}{t} \quad (2)$$

Al remplazar la  $d$  carrera y el  $t$  tiempo de inyección se obtiene:

$$v = 17.5 \frac{mm}{s}$$

### 3.1.5. Mecanismo de Inyección.

Es un sistema que está compuesto por la transformación del movimiento circular a lineal alternativo. Se utiliza un sistema de Biela – Manivela, dicho brazo estará conectado a la barra inyectora que es la que realiza el proceso de formación del donut.



Figura 30. Sistema Biela-Manivela [51].

En la Figura 30. La leva tiene una carrera de 70 mm, y con este dato se procede a dimensionar la manivela, lo simularemos como una viga empotrada en uno de sus extremos y como carga puntual la fuerza ejercida por la barra inyectora. La fuerza aplicada sería el peso de un donut a masa cruda, 83.59 gr. Diseñaremos para el caso más complicado que va ser la primera alzada en la que la carga total de masa de un donut correspondiente a 12 kg y mediante la Ec. (3) se obtiene la carga.

$$F = m \cdot g \quad (3)$$

Al remplazar se obtiene:

$$F = (12 \text{ kg}) \cdot \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$F = 117.72 \text{ N}$$

Calculamos el momento flector máximo usando en el software MDSolids 4.0 como se muestra en la Figura 31.

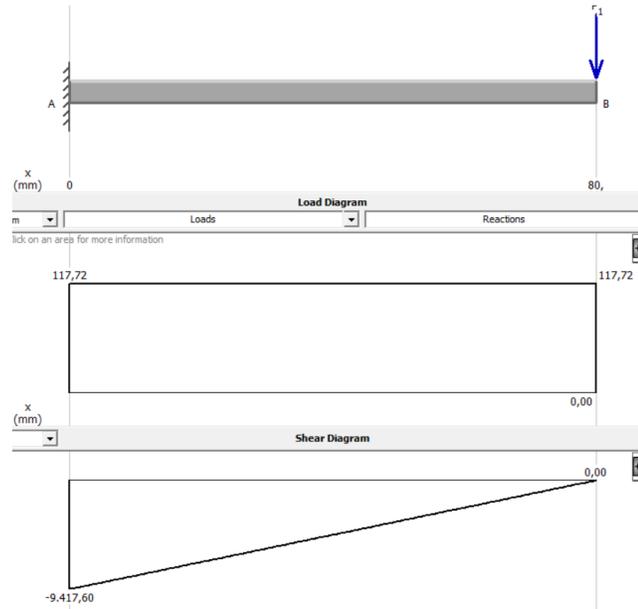


Figura 31. Momento Flector máximo [51].

Obteniendo como resultado un momento flector máximo de 9.417 N.m, con el mismo que se determina el módulo de sección, con la Ec. (4) presentada por [56]:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (4)$$

Dónde:

$\sigma$ : Esfuerzo axial

M: Momento flector máximo

S: Modulo de sección

Usando el esfuerzo admisible para flexión propuesto por [57],  $[\sigma]=0,6 S_y$ , despejando M y reemplazando los datos del acero A-36, para un  $S_y = 250 \text{ MPa}$  [58] en la Ec. (5):

$$S = \frac{M}{0.6 S_y} \quad (5)$$

Obteniéndose:

$$S = \frac{9.417 \text{ N.m}}{0.6 \times 250 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 10^6} = 6.27 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

De la Ec. (6) planteada por [59], para el módulo de sección de una barra rectangular, calculamos la placa mínima considerando una platina del Anexo 2 con un espesor  $b$  de 4 mm.

$$S = \frac{b.h^2}{6} \tag{6}$$

Al reemplazar y despejar se obtiene:

$$h = \sqrt[2]{\frac{6 (6.27 \times 10^{-8} \text{ m}^3)}{0.004 \text{ m}}} = 0.00969 \text{ m} = 9.6 \text{ mm}$$

Con el ancho de la platina revisamos en catálogos de proveedores locales como se muestra en el Anexo 2, se selecciona 3/4 plg = 19.05 mm considerando el maquinado que va a sufrir el elemento adicional a los esfuerzos fluctuantes para confirmar veracidad del diseño se realiza la simulación en inventor.

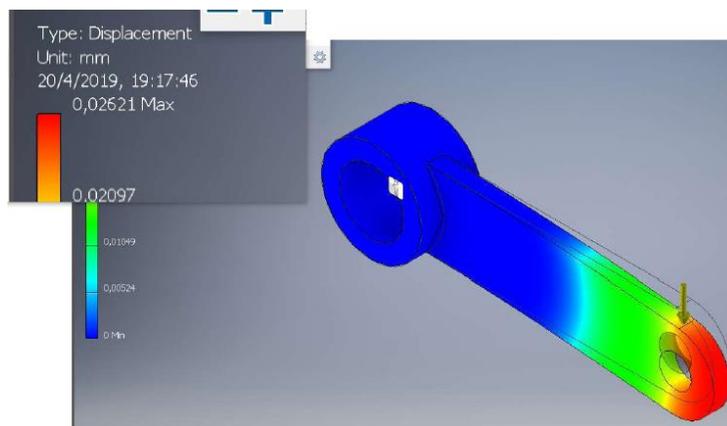


Figura 32. Deformación de la biela [51].

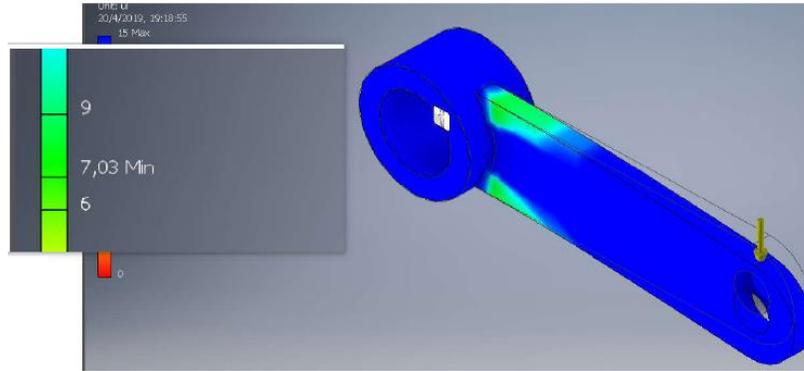


Figura 33. Factor de seguridad de la biela [51].

De la Figura 32 y 33. Se obtiene en la simulación una deformación máxima de 0,0262 mm y un factor de seguridad alrededor de 7.03 al comparar el esfuerzo permisible con el esfuerzo máximo.

### 3.1.6. Diseño del eje inyector

Este es un elemento que se lo diseñará a tensión, con una carga de diseño de 117,72 N, correspondiente a la carga inyectora en trabajo. Por lo cual se utiliza la Ec. (7) propuesta en [59]:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (7)$$

Dónde:

S = esfuerzo normal (para el diseño se tomará 0,8 Sy)

P = carga de trabajo

A = área de la sección (área mínima)

Al despejar el área mínima de la formula, y reemplazando los datos: Sy = 176.51 MPa según Anexo 1 para acero inoxidable, la carga de inyección P = 117.72 N, tenemos:

$$A_{\text{minima}} = \frac{117.72 \text{ N}}{\left[0.8 \cdot 176.51 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]} = 8.36 \times 10^{-7} \text{ m}^2 = 0.836 \text{ mm}^2$$

Al trabajarse con una sección circular se considera la Ec. (8), se procede a calcular el diámetro:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (8)$$

Se reemplaza  $A_{\text{minima}}$  calculada por la Ec. (8) y se obtiene:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.836)}{\pi}} = 1.03 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo obtenido es muy pequeño, por lo que se decide a seleccionar una barra de 3/8 plg se procede a dar veracidad en la simulación con inventor.

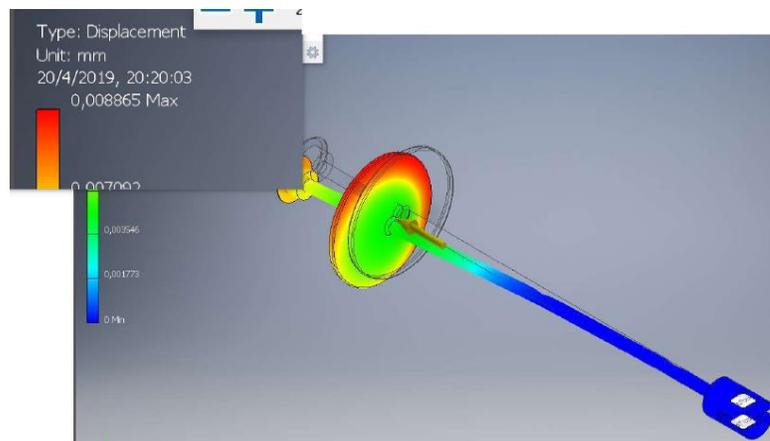


Figura 34. Simulación del desplazamiento en el eje inyector [51].

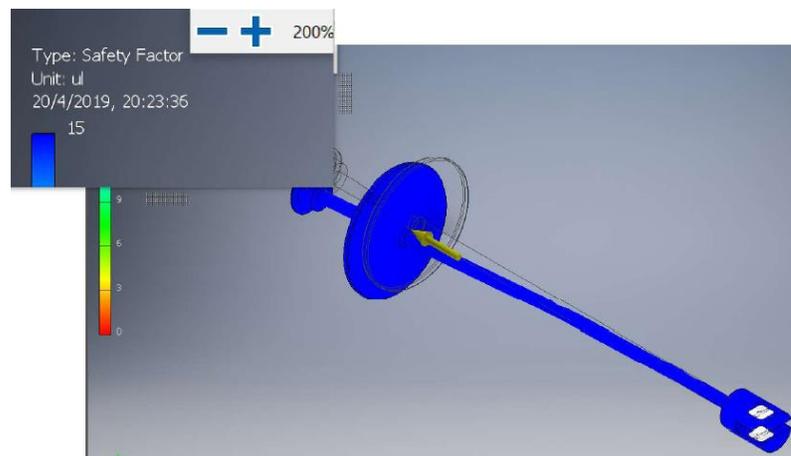


Figura 35. Simulación del factor de seguridad en el eje inyector [51].

Obteniendo como resultado un desplazamiento máximo de 0,00886 mm y un factor de seguridad de 15 en todo el eje inyector en el diseño de esfuerzos permisibles.

### 3.1.7. Cálculo de la potencia del motor para inyección

Para el cálculo de potencia será necesario utilizar la Ec. (9) propuesta en [57]:

$$P = T \cdot \omega \quad (9)$$

Dónde:

P: potencia mecánica

$\omega$ : Velocidad angular

T: torque de giro

Para la velocidad angular la podremos deducir de la Ec. (10). El recorrido del brazo inyector es de 70 mm y lo debe recorrer en 4s, por lo que la velocidad lineal es de 17.5 mm/s = 0.0175 m/s, sabemos que:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (10)$$

Para un radio de 0.035 m correspondiente a la leva y una velocidad de  $0.0175 \frac{m}{s}$ , tenemos:

$$\omega = \frac{0.0175 \frac{m}{s}}{0.035m} = 0.5 \frac{rad}{s} = 47.74 rpm$$

El torque lo calculamos con la Ec. (11):

$$T = F \cdot d \quad (11)$$

$$T = (117.72 N) \cdot (0.035 m) = 4,12 N \cdot m$$

Con el torque y la velocidad angular al reemplazar en la Ec. (9) la potencia será:

$$P = (4.12 N \cdot m) \cdot \left(0.5 \frac{rad}{s}\right) = 2.02 watt = 0.0027 hp$$

Una vez obtenido el valor en hp, se escoge el motor de más baja potencia existente en el mercado: WEG ¼ hp [60].

## 3.2. Sistema de circulación de aceite

### 3.2.1. Paleta propulsora

Para el diseño de este sistema se debe primero hacer un estudio del tiempo de fritura del donut según [61], para freír un donut, se lo debe hacer a  $160 \pm 3^\circ C$  y por un lapso de tiempo entre 21 a 23 segundos. Tomaremos un tiempo de fritura de 22 s, este será el

tiempo que el donut recorra el recipiente porta aceite. Para tener un diseño simétrico, la mitad del recorrido se freirá la mitad del donut para luego ser volteada y freír la otra mitad del donut. Por lo que en 11 segundos el donut recorre 700 mm reutilizando la Ec. (2) para obtener la velocidad del movimiento al remplazar valores se obtiene:

$$v = \frac{0.7 \text{ m}}{11 \text{ s}} = 0.063 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esta velocidad de movimiento corresponde a la velocidad tangencial una de las paletas propulsoras utilizando la Ec. (10) se calcula la velocidad mínima de propulsión del donut:

$$\omega = \frac{0.063 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.022 \text{ m}} = 2.86 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 27.34 \text{ rpm}$$

Para determinar la fuerza, lo haremos para el caso más crítica es decir una fuerza puntual en el centro de la paleta propulsora correspondiente a la presión hidrostática máxima mediante la Ec. (12) con una altura en la paleta de  $h = 22 \text{ mm}$  y la densidad del aceite de cocina  $0.92 \text{ gr/cm}^3$  [61].

$$p_{\text{máx}} = \delta gh \tag{12}$$

Al reemplazar valores se obtiene:

$$p_{\text{máx}} = \left(920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (0.022 \text{ m})$$

$$p_{\text{máx}} = 198.5 \text{ Pa}$$

El área de aplicación de la presión hidrostática en la paleta es:

$$A_{pr} = (0.20 \text{ m}) (0.022 \text{ m}) = 0.0044 \text{ m}^2$$

Mediante la Ec. (13) se obtiene la fuerza que se ejerce en la paleta [62].

$$F = p_{\text{máx}} \cdot A_{pr} \tag{13}$$

Al remplazar  $A_{pr}$  el área y la  $p_{\text{máx}}$  presión hidrostática se obtiene:

$$F = (198.5 \text{ Pa})(0.0044 \text{ m}^2) = 0.87 \text{ N}$$

La paleta propulsora en acero inoxidable se evalúa por esfuerzos permisibles mediante el software inventor en la simulación para verificar la veracidad de lo calculado como se muestra en la Figura 36 y Figura 37.

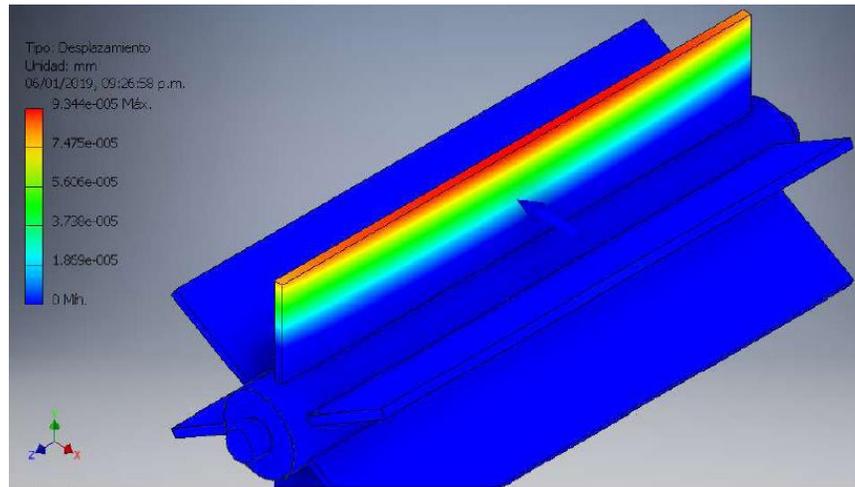


Figura 36. Simulación de deformación de la paleta propulsora [51].

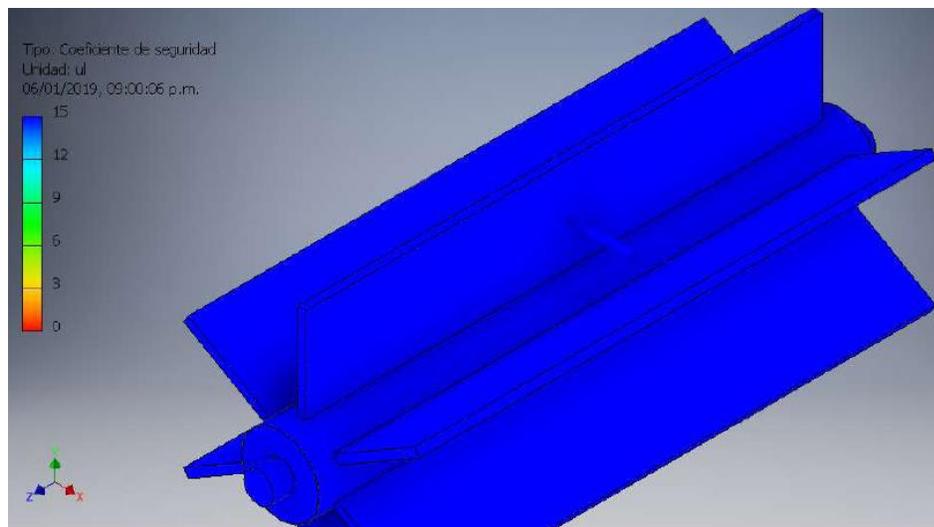


Figura 37. Simulación del factor de seguridad de la paleta propulsora [51].

El resultado obtenido muestra un desplazamiento máximo  $9.3 \times 10^{-5}$  mm y un factor de seguridad de 15 en todo el elemento se muestra un diseño adecuado.

### 3.2.2. Sistema de volteo

El volteo de la dona se lo hará mediante bandejas en acero inoxidable que giran, se garantiza que la dona se voltea completamente. La bandeja será tipo malla horizontal para garantizar el escurrimiento máximo del donut, donde cada ranura debe ser menor que el diámetro total de un donut.

Tabla 15. Aberturas ideales para la malla.

$\phi$ donut (mm)	Abertura ranura (mm)
100	10

Al aplicar la fuerza de propulsión de la Ec. (13) y el peso de 2 donuts semi-cocidas correspondiente a 17.27 N simulamos en Inventor.

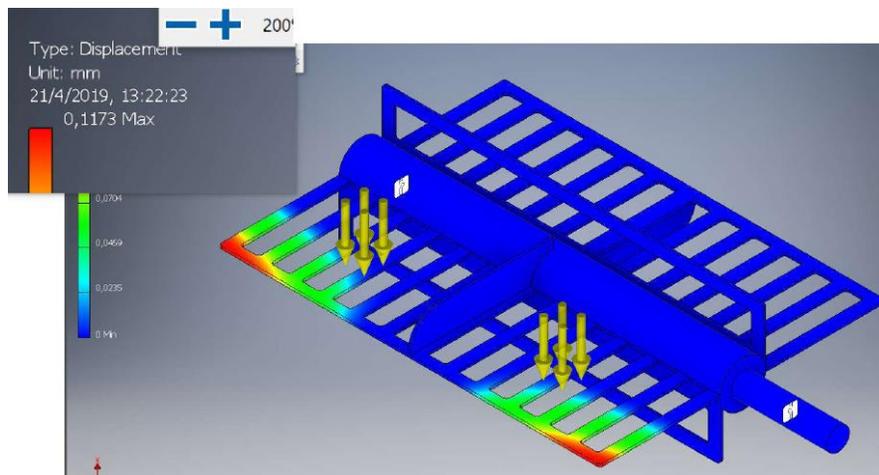


Figura 38. Deformación en el sistema de volteo [51].

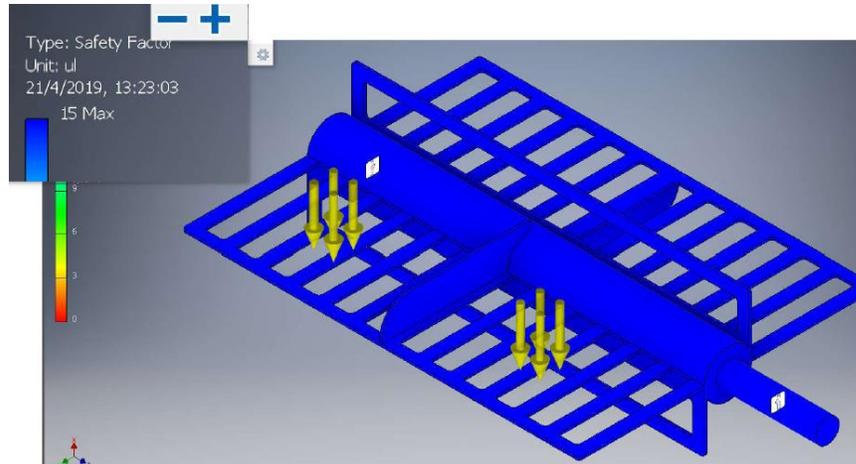


Figura 39. Simulación del factor de seguridad de la malla [51].

De los resultados obtenidos en el software observamos un desplazamiento máximo de 0,1173 mm y mediante el diseño de esfuerzos permisibles el factor de seguridad es de 15 en toda la bandeja el diseño es óptimo.

### 3.2.3. Diseño de los ejes

El eje del sistema de volteo en acero inoxidable soportara una carga de 67.32 N correspondiente a la fuerza de propulsión más el peso de los elementos diseñados y ensamblados para la comprobación del eje, adicional consideramos el torque de 1.29 N.m necesario para realizar el giro, se verifica simulándolo con el módulo generador de ejes de Inventor al aplicar el criterio de Von Mises como se muestra en la Figura 40 para determinar el dimensionamiento adecuado.

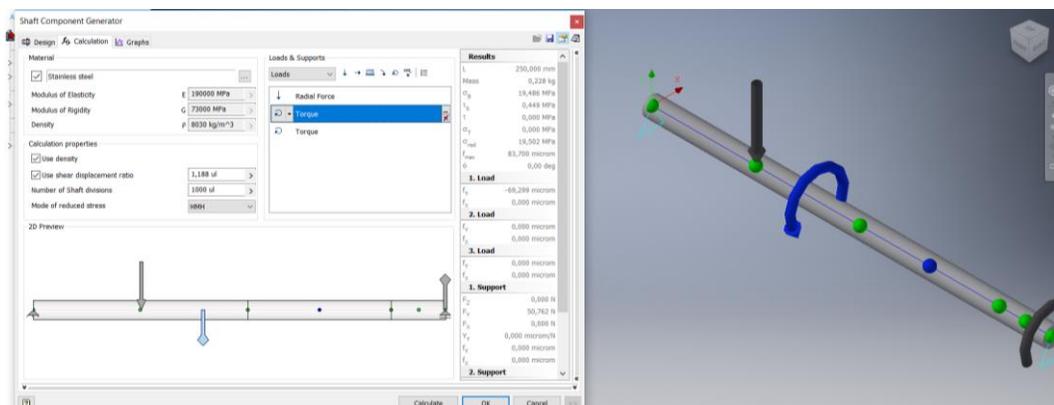


Figura 40. Simulación del eje [51].

Al ingresar las cargas y el dimensionamiento propuesto se obtiene las gráficas de momento flector, cortante y la propuesta del diámetro ideal como se muestra en el Anexo 3.

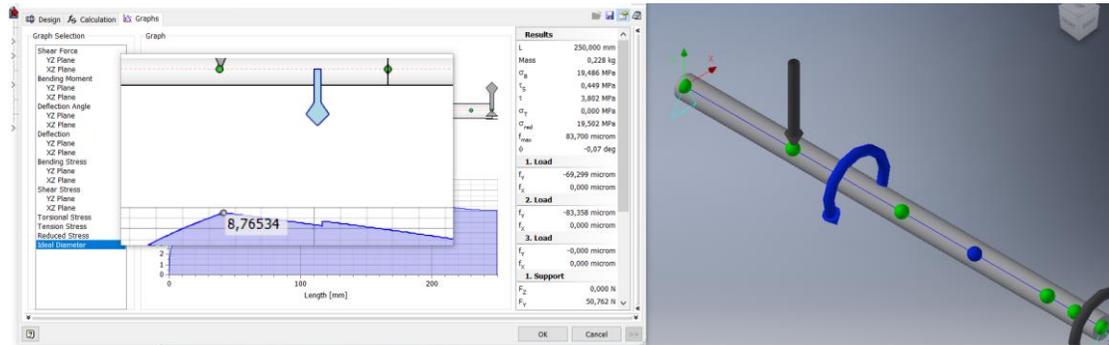


Figura 41. Diámetro ideal determinado por Inventor [51].

Como se puede visualizar en la Figura 41. El diámetro adecuado es de 8.76 mm sin embargo por facilidad de mecanizado y ensamble con el resto de los elementos se ha considerado un diámetro de 12 mm el mismo que será usado con el resto de ejes del sistema de circulación.

### 3.2.4. Cálculo del motor para sistema de circulación.

Para el cálculo de potencia del motor en la circulación del aceite será necesario utilizar la Ec. (9) anteriormente usada en la inyección:

$$P = T \cdot \omega \quad (9)$$

Para la velocidad angular se conoce que debe ser la mitad de la inyección para garantizar el suministro en las dos líneas de cocción correspondiente a  $\omega = 23.87$  rpm en cuanto al torque se calcula con la Ec. (11) considerando la  $F = 27.17$  N del sistema de volteo y la distancia  $d = 0.043$  m desde el centro del eje al cancroide del sistema de volteo.

$$T = F \cdot d \quad (11)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$T = (27.17 \text{ N}) \cdot (0.043 \text{ m}) = 1.16 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con el torque y la velocidad angular al reemplazar en la Ec. (9) la potencia será:

$$P = (1.16 \text{ N.m}) \cdot \left(2.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) = 2.89 \text{ watt} = 0.0038 \text{ hp}$$

Una vez obtenido el valor en hp, se selecciona el motor de más baja potencia existente en el mercado: WEG ¼ hp [60].

### 3.2.5. Diseño del Engranaje

Para la transmisión de potencia al mecanismo de circulación se optó por ruedas dentadas es necesario evaluar su resistencia a flexión y desgaste para el cálculo se lo realiza mediante método AGMA procediendo a evaluar el engrane tentativo de  $N = 16$ ,  $d_p = 48.82 \text{ mm}$ ,  $F = 5.3 \text{ mm}$  y  $m = 2.5 \text{ mm}$  seleccionado en catálogo [63], [64], la potencia obtenida  $P = \frac{1}{4} \text{ HP}$  y la velocidad de trabajo  $\omega = 23.87 \text{ rpm}$ .

Mediante la Ec. (14) y la Ec. (15) se determina la velocidad lineal y el paso respectivamente:

$$v = \frac{\pi \cdot d_p \cdot \omega}{6000} \quad (14)$$

$$p = \pi \cdot m \quad (15)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$v = 0.6101 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{y} \quad p = 7.85$$

Ahora se debe determinar las cargas tangencial y radial esta dadas por:

$$W_t = \frac{1000 \cdot P}{v} \quad (16)$$

$$W_r = w_t \cdot \tan \phi \quad (17)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$W_t = \frac{1000 \cdot (0.186 \text{ Kw})}{0.6101 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 304.86 \text{ N}$$

Para la carga radial con un ángulo de presión de  $\phi = 20^\circ$  se obtiene:

$$W_r = (304.86 \text{ N.}) \tan 20^\circ = 110.95 \text{ N}$$

Es necesario determinar el esfuerzo a flexión mediante método AGMA [57], se utiliza la Ec. (18) se expresa como:

$$\sigma_t = \frac{W_t K_0 K_v K_s K_m K_B}{F m J} \quad (18)$$

Dónde:

$W_t$ : Carga tangencial transmitida

$K_0$ : Factor de sobre carga de 1

$K_v$ : Factor dinámico

$K_s$ : Factor de tamaño equivalente a 1

$K_m$ : Factor de distribución de carga considerando a 1.3

$K_B$ : Factor del espesor de 1 considerando el espesor constante

$F$ : Ancho de la cara del engranaje

$m$ : Módulo métrico

$J$ : Factor geométrico de resistencia a torsión de 0.42

Para el factor dinámico se ha considerado una calidad  $Q_v = 6$  usado para la mayoría de engranes se calcula con:

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \quad (19)$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (20)$$

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{200v}}{A} \right) \quad (21)$$

Reemplazando en la Ec. (21) la Ec. (19), la Ec. (20) la calidad y la velocidad de paso se obtiene:

$$K_v = 1.049$$

Obtenido todos los coeficientes se reemplaza en la Ec. (18) y se obtiene:

$$\sigma_t = \frac{(304.86N)(1)(1.049)(1)(1.3)(1)}{(5.3 \text{ mm})(2.5\text{mm})(0.42)}$$

$$\sigma_t = 74 \text{ MPa}$$

Para el engranaje se ha considerado el material AISI 1045 con características mecánicas aceptables para este tipo de trabajo en el Anexo 4 con una dureza de 190 HB conociendo estos valores con la Ec. (22) se determina la resistencia de flexión permisible [63].

$$S_t = 0.703HB + 113 \text{ MPa} \quad (22)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$S_t = 246.57 \text{ MPa}$$

Nuevamente usando el método AGMA determinamos el esfuerzo de flexión permisible mediante la Ec. (23) se calcula [57].

$$\sigma_{perm} = \frac{S_t Y_N}{K_T K_R} \quad (23)$$

Dónde:

$S_t$ : Esfuerzo a flexión permisible

$Y_N$ : Factor de ciclos del esfuerzo de flexión para  $10^6$  ciclos es 1.2

$K_T$ : Factor de temperatura de 1 por estar a temperatura menor a los 120 °C.

$K_R$ : Factor de Confiabilidad de 0.85 suponiendo una confiabilidad del 90%

Al reemplazar valores se obtiene:

$$\sigma_{perm} = \frac{(246.57 \text{ MPa})(1.2)}{(1)(0.85)}$$

$$\sigma_{perm} = 348.09 \text{ MPa}$$

Finalmente evaluamos el diseño mediante la Ec. (24) y se calcula el factor de seguridad.

$$\sigma_t \leq \sigma_{perm} \quad (24)$$

Al reemplazar se muestra:

$$74 \text{ MPa} \leq 348 \text{ MPa}$$

Se cumple dando como resultado un diseño satisfactorio, se procede a determinar mediante la Ec. (25) el factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_t} \quad (25)$$

Al reemplazar da como resultado un factor de seguridad de  $FS = 4.70$  realmente muy bueno para su funcionamiento y operación.

### 3.2.6. Mecanismo de circulación de aceite

El mecanismo utilizado para la circulación del aceite en su mayoría es de cadena- piñón a excepción del eje motriz donde la relación es entre engranes, se ha seleccionado este tipo de transmisión positiva por la afectación de la temperatura y la distancia entre los ejes de entrada y salida para las diferentes configuraciones en la Figura 42. Se puede apreciar dichas configuraciones al igual que en el Anexo 5.

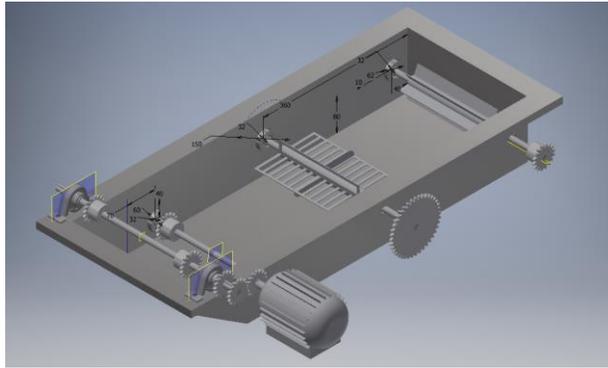


Figura 42. Mecanismo para circulación de aceite [51].

Las cadenas pueden utilizarse en ambientes hostiles, el estilo de la cadena permite varias aplicaciones para nuestro caso es de tipo banda transportadora en inoxidable para el sistema de circulación de aceite, que garantiza la funcionalidad y contacto con el alimento [65].

Acorde a lo calculado en el diseño del engranaje, por similitud dimensional y lo existente en el mercado la selección del piñón para el mecanismo es el que se muestra en la Figura 43, acorde al catálogo [64].

PIÑONES SPROCKETS	3/8" x 7/32" 06B - 1 - 2 - 3	Z	$d_e$	$d_p$	Simple		
					$d_m$	$D_1$	A
Para cadena de rodillos For roller chains	s/ DIN 8187 ISO/R 606	8	28	24,89	15	8	20
		9	31	27,85	18	8	20
		10	34	30,82	20	8	20
		11	37	33,8	22	8	25
		12	40	36,8	25	8	25
		13	43	39,79	28	10	25
		14	46,3	42,8	31	10	25
		15	49,3	45,81	34	10	25
		16	52,3	48,82	37	10	28
		17	55,3	51,83	40	10	28
		18	58,3	54,85	43	10	28
		19	61,3	57,87	45	10	28
		20	64,3	60,89	46	10	28
		21	68	63,91	48	12	28
22	71	66,93	50	12	28		

Figura 43. Selección de Piñón [64].

Para el engrane se requiere una relación de velocidad mayor, se conoce el  $\omega_s = 27.34$  rpm mínimo en el eje propulsor, pero para garantizar mejor propulsión se duplicara esta velocidad de salida, además se conoce la velocidad de entrada  $\omega_e = 23.87$  rpm en el eje de volteo mediante la Ec. (26) se obtiene la relación de transmisión [65].

$$m_v = \frac{\omega_e}{\omega_s} = \frac{N_s}{N_e} \quad (26)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$m_v = \frac{23.87 \text{ rpm}}{54.68 \text{ rpm}} = 0.4366$$

De la misma Ec. (25) al reemplazar la relación de transmisión obtenida y el número de dientes del piñón seleccionado en la Figura 44,  $N_s = 16$  al reemplazar y despejar  $N_e$  se obtiene:

$$N_e = \frac{N_s}{m_v} = \frac{16}{0.4366} = 36.64$$

Se considera una pérdida del 8 % en la cadena se obtiene un engrane de  $N_e = 39.57$  dientes y se selecciona acorde al catalogo como se muestra en la Figura 45, que es de tipo simple [64].

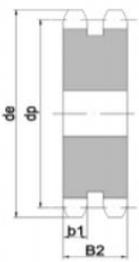
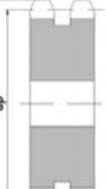
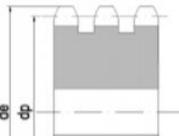
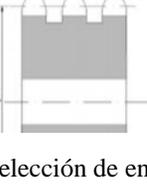
Discos		3/8"x7/32"	Z	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	S	D	T			
Plate wheels		06B - 1-2-3				D <sub>1</sub>	Kg	D <sub>1</sub>	Kg		
Para cadena de rodillos	s/ DIN 8187	ISO/R 606	8	28	24,89	6	0,01	6	0,03	6	0,04
			9	31	27,85	7	0,01	8	0,03	8	0,04
For roller chains			10	34	30,82	7	0,02	8	0,05	10	0,08
			11	37	33,80	8	0,02	10	0,05	10	0,08
			12	40	36,80	8	0,03	10	0,08	10	0,11
			13	43	39,79	8	0,04	10	0,10	10	0,15
			14	46,3	42,80	8	0,05	10	0,13	12	0,19
			15	49,3	45,81	8	0,06	10	0,15	12	0,23
			16	52,3	48,82	10	0,07	12	0,18	12	0,27
			17	55,3	51,83	10	0,08	12	0,20	12	0,30
			18	58,3	54,85	10	0,09	12	0,23	12	0,34
			19	61,3	57,87	10	0,1	12	0,25	12	0,38
			20	64,3	60,89	10		12		12	
			21	68	63,91	10	0,13	12	0,33	14	0,49
			22	71	66,93	10	0,14	12	0,35	14	0,53
			23	73,5	69,95	10	0,16	12	0,40	14	0,61
			24	77	72,97	10	0,17	12	0,43	14	0,65
			25	80	76,02	10	0,18	12	0,45	14	0,68
			26	83	79,02	10	0,18	12	0,45	14	0,68
			27	86	82,02	10		12		14	
			28	89	85,07	10	0,22	12	0,55	14	0,84
			29	92	88,09	10		12		14	
			30	94,7	91,12	10	0,25	12	0,63	14	0,95
			31	98,3	94,15	12		14		16	
			32	101,32	97,17	12	0,29	14	0,73	16	1,10
			33	104,3	100,20	12		14		16	
			34	107,3	103,23	12	0,34	14	0,85	16	1,29
			35	110,4	106,26	12	0,36	14	0,90	16	1,37
			36	113,4	109,20	12	0,38	14	0,95	16	1,44
			37	116,4	112,32	12		14		16	
			38	119,5	115,35	12	0,42	14	1,05	16	1,60
			39	122,5	118,37	12		14		16	
			40	125,5	121,40	12	0,47	14	1,18	16	1,79
			41	128,5	124,43	16		16		16	
			42	131,6	127,46	16		16		16	
			43	134,6	130,49	16		16		16	

Figura 44. Selección de engranaje para sistema de volteo [64].

Finalmente se selecciona la cadena como se muestra en la Figura 45 y el Anexo 6 muestra que tanto los piñones como el engrane tienen un paso  $p = 9.525$  adecuado al paso de la cadena [64].

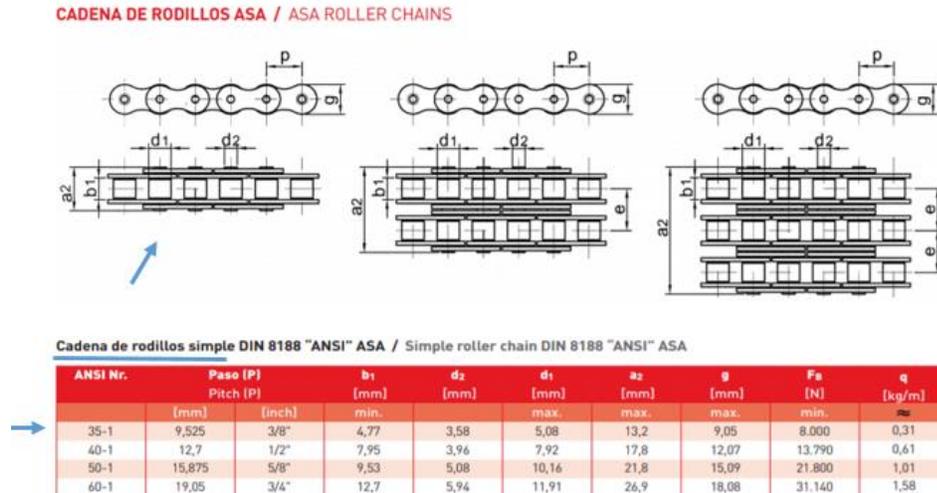


Figura 45. Selección de cadena [64].

Para la bandeja que descarga los donuts se selecciona la misma cadena, pero con aleta lateral para acoplar la malla transportadora.

### 3.2.7. Selección de rodamientos

Para el diseño del rodamiento se utiliza la carga de reacción más alta que se realizó en el análisis del eje en el sistema de circulación y se muestra en la Figura 46 considerando una  $F = 50.76$  N.

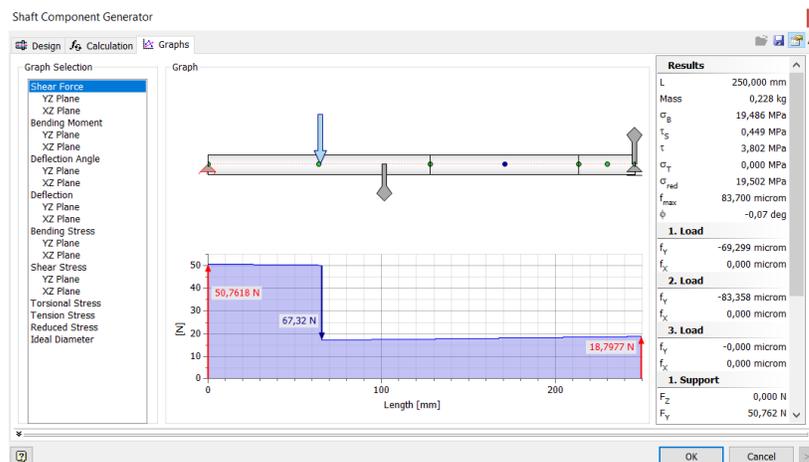


Figura 46. Diagrama de fuerzas en cortante [51].

Mediante el software AutoCAD Mechanical se realiza el cálculo del rodamiento como se muestra en la Figura 47.

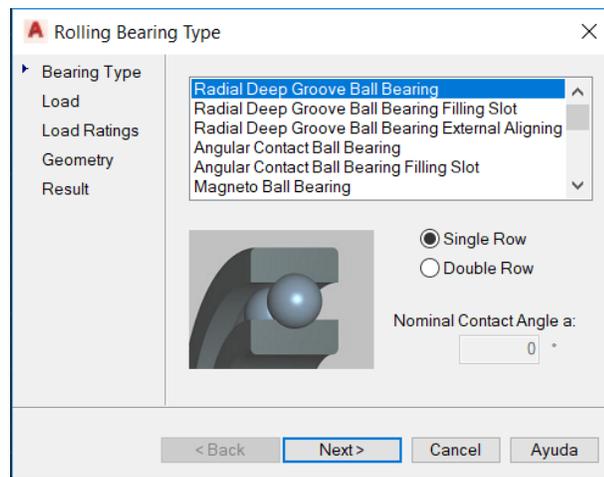


Figura 47. Cálculo de rodamiento en AutoCAD Mechanical [51].

Se ingresa la carga radial junto con los parámetros dimensionales y se obtiene los resultados mostrados en la Figura 48.

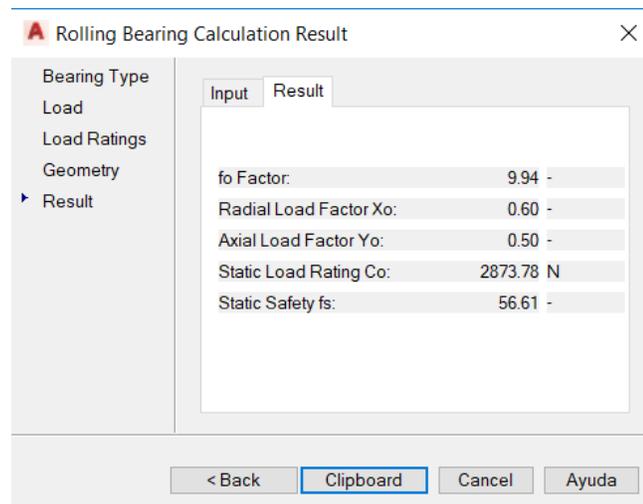
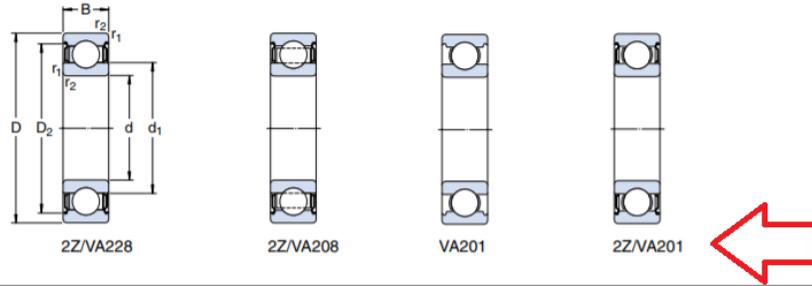


Figura 48. Capacidad de carga estática para rodamientos [51].

Mediante el catálogo de SKF seleccionamos el rodamiento que cumpla con las características de carga estática, dimensional y aplicación. El rodamiento seleccionado es el mostrado en la Figura 49 denominado 6201-2Z/VA228 para altas temperaturas [66].

para temperaturas extremas  
d 10 – 35 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga estática $C_0$	Juego interno radial		Masa kg	Designación
d	D	B		mín	máx		
mm			N	$\mu\text{m}$			-
10	35	11	3 400	80	150	0,053	<b>6300-2Z/VA201</b>
12	32	10	3 100	100	180	0,037	<b>6201/VA201</b>
	32	10	3 100	100	180	0,037	<b>6201-2Z/VA201</b>
	32	10	3 100	100	180	0,037	<b>6201-2Z/VA208</b>
	32	10	3 100	100	180	0,037	<b>6201-2Z/VA228</b>
15	35	11	3 750	100	180	0,045	<b>6202/VA201</b>
	35	11	3 750	100	180	0,043	<b>6202-2Z/VA208</b>
	35	11	3 750	100	180	0,043	<b>6202-2Z/VA228</b>

Figura 49. Selección de rodamiento SKF para altas temperaturas [51].

### 3.3. Sistema de Cocción

#### 3.3.1. Calor necesario para cocción

Es necesario determinar la cantidad de calor necesario para dar la cocción de los donuts en ese sentido para determinar el quemador de la freidora utilizaremos la Ec. (27) en el balance de energía [67]:

$$Q_{glp} = Q_{aceite} + Q_{p1} + Q_{p2} \quad (27)$$

Donde tenemos:

$Q_{glp}$ : Calor suministrado por el GLP

$Q_{aceite}$ : Calor necesario para que se efectuó la cocción en el aceite

$Q_{p1}$ : Perdida de calor por conducción

$Q_{p2}$ : Perdida de calor por convección

El calor necesario por el aceite para freír los donuts lo podemos calcular mediante la Ec. (28):

$$Q_{aceite} = m_a \cdot C_{p_a} \cdot (T_f - T_i) \quad (28)$$

$m_a$ : Masa del aceite vegetal

$Cp_a$ : Poder calórico del aceite vegetal

$T_f$ : Temperatura final para cocción

$T_i$ : Temperatura Ambiente

La masa de aceite se la obtiene a partir de la Ec. (29) donde consideramos la densidad del aceite vegetal de  $\rho_a = 0.9 \text{ g/cm}^3$  [68] y el volumen de aceite que utilizaremos en la cocción es  $20042.609 \text{ cm}^3$  determinado por simulación del recipiente de la Figura 50.

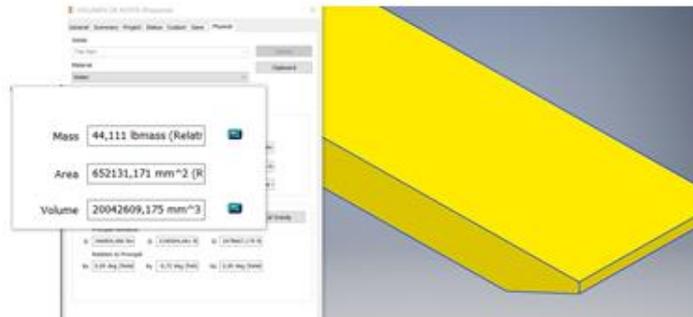


Figura 50. Volumen de aceite vegetal simulado [51].

$$m_a = \rho_a \cdot V_a \quad (29)$$

Al reemplazar los valores de volumen y densidad en la Ec. (29):

$$m_a = 0,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 20042,609 \text{ cm}^3$$

Se obtiene:

$$m_a = 18.038 \text{ Kg}$$

Determinado la masa de aceite adicional con la ayuda del poder calórico  $Cp_a = 2000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  [68], la temperatura final de cocción  $165 \text{ }^\circ\text{C}$  [9] y la temperatura ambiente promedio en quito de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  [69], se reemplaza en la Ec. (28):

$$Q_{aceite} = 18.038 \text{ Kg} \cdot 2000 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (165 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C})$$

Se obtiene:

$$Q_{aceite} = 5.411 \text{ MJ}$$

Para las pérdidas por conducción y convección se usará lana de vidrio como aislante térmico por su alta resistencia térmica, no posee inflamabilidad y adicional tiene buena durabilidad mitigando las pérdidas de calor [70] obteniendo así:

$$Q_{glp} = Q_{aceite} = 5.411 \text{ MJ}$$

### 3.3.2. Consumo de GLP

El calor suministrado por el GLP ( $Q_{glp}$ ) está definido como [67]:

$$Q_{glp} = m_{glp} \cdot PC \quad (30)$$

Donde el PC es el poder calórico del GLP a 45.7 MJ/kg obtenido de la Tabla 5, según Espín [34], el calor suministrado por el GLP se la obtiene del balance de energía en la Ec. (16) al despejar y remplazar en Ec. (30) la  $m_{glp}$  es:

$$m_{glp} = \frac{5.411 \text{ MJ}}{45.7 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}}$$

Se obtiene:

$$m_{glp} = 0.118 \text{ Kg}$$

El consumo del GLP se lo obtiene a partir de la Ec. (31):

$$\dot{m}_{glp} = \frac{m_{glp}}{t} \quad (31)$$

Al reemplazar la  $m_{glp}$  y tiempo para una hora:

$$\dot{m}_{glp} = 0.118 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Considerando una jornada laboral de 7 horas y a 30 días para un mes se obtiene 210 horas de operación del quemador se despeja  $m_{glp}$  y al reemplazar en Ec. (31) se tiene:

$$m_{glp} = 0.118 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 210 \text{ h}$$

Se obtiene:

$$m_{glp} = 24.78 \text{ kg}$$

En nuestro país un cilindro de GLP contiene 15 kg, por lo que para cumplir el cometido se necesitan por lo menos 2 cilindros de 15 kg. Considerando las pérdidas del 10% en la combustión del GLP domestico debido a la vaporización del agua [71].

### 3.3.3. Dimensionamiento del quemador

El diseño del quemador debe proporcionar funcionalidad al momento de la combustión sin descuidar el área de trabajo en la cocción [32], se ha considerado la Ec. (32) para el dimensionamiento [67]:

$$\dot{m}_{glp} = \rho_{glp} \cdot A_q \cdot V_{prom} \quad (32)$$

Se utiliza el consumo  $\dot{m}_{glp}$  de la Ec. (32), la densidad del GLP  $\rho_{glp}$  de la Tabla 5 correspondiente a  $500 \text{ kg/m}^3$ , la velocidad promedio  $V_{prom}$  de la llama es  $20 \text{ m/s}$  según Hurth [72] al reemplazar valores y despejar área del quemador  $A_q$  se obtiene:

$$A_q = \frac{24.78 \text{ kg}}{500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_q = 2078 \text{ mm}^2$$

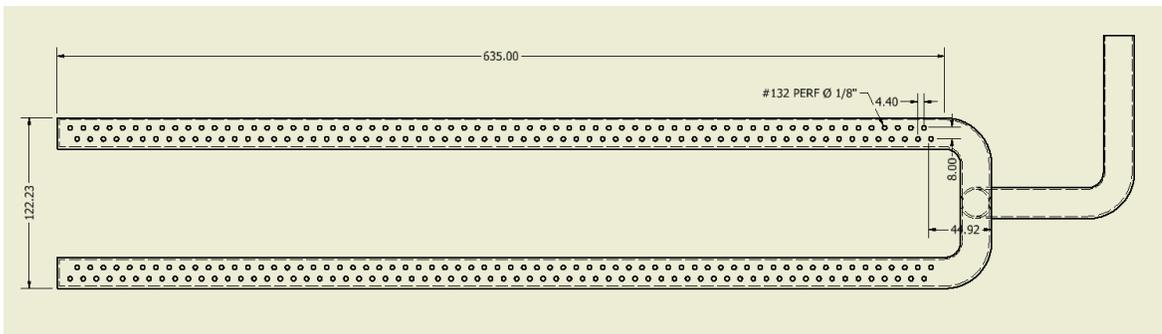


Figura 51. Dimensionamiento Chimenea [51].

Como se muestra en la Figura 51. Se realiza 264 perforaciones de  $\text{Ø } 1/8$  pulg para dos ramales en ese sentido se considera lo siguiente:

$$A_D = \frac{\pi \cdot D_{perf}^2}{4} \cdot N_{perf} \quad (33)$$

Dónde:

$A_D$ : Área diseñada del quemador

$D_{perf}$ : Es el diámetro de perforaciones correspondiente a  $3,175 \text{ mm}$

$N_{perf}$ : Numero de perforaciones

Al remplazar los valores se obtiene:

$$A_D = \frac{\pi \cdot (3.175)^2}{4} \cdot 264$$

$$A_D = 2090.168 \text{ mm}^2$$

Tenemos que  $A_q < A_D$  en ese sentido el diseño del quemador es el adecuado.

### 3.4. Estructura soporte

Para iniciar el análisis de la estructura es necesario determinar el peso de la máquina para eso se utiliza la herramienta iproperties de Inventor al igual que los catálogos mediante la Tabla 16. Se ha considerado las cargas más relevantes.

Tabla 16. Tabla de pesos para una máquina semiautomática de donuts.

Descripción	Peso [Kg]	Carga [N]
Motor 1/4 HP Inyección	6,5	63,77
Accesorios Inyección	1,18	11,58
Tolva	2,97	29,14
Masa Donuts	12	117,72
Calentador	7,94	77,89
Accesorios Circulación de Aceite	5,92	58,08
Motor 1/4 HP Inyección	6,5	63,77
Aceite para Cocción	18,03	176,87
Quemador	1,19	11,67
PLC	3,2	31,39
Accesorios eléctricos	1,6	15,70
TOTAL	67,03	657,56

Realizado por: Salas y Calahorrano

#### 3.4.1. Simulación de cargas en la base

Para el análisis de cargas en la base se ha considerado la carga muerta de 377.29 N obtenida de la Tabla 16 y carga viva de 130.71 N donde se considera el aceite, los donuts cociéndose y el apoyo parcial de algún objeto u persona en la Figura 52 se visualiza el ingreso de parámetros.

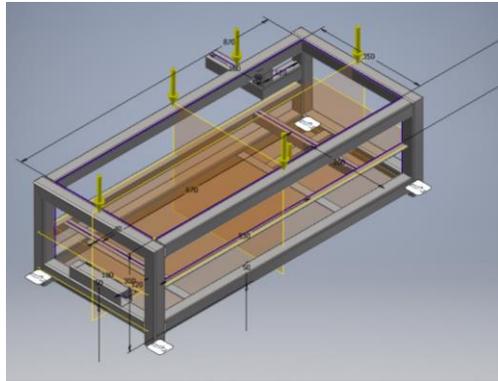


Figura 52. Ingreso de cargas a estructura base [51].

Se realiza la corrida de la simulación y se procede a evaluar los resultados obtenidos mediante el diseño de esfuerzos permisibles que se muestra en la Figura 54 y Figura 55 obteniéndose un desplazamiento de 0.289 mm y un factor de seguridad de 15 en la mayoría de la estructura garantizando el soporte necesario para todos los elementos.

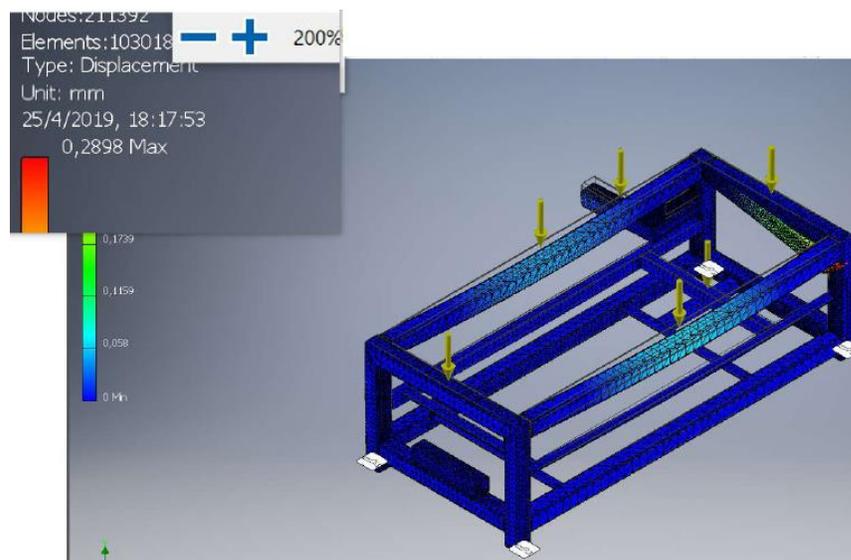


Figura 53. Desplazamiento en la estructura [51].

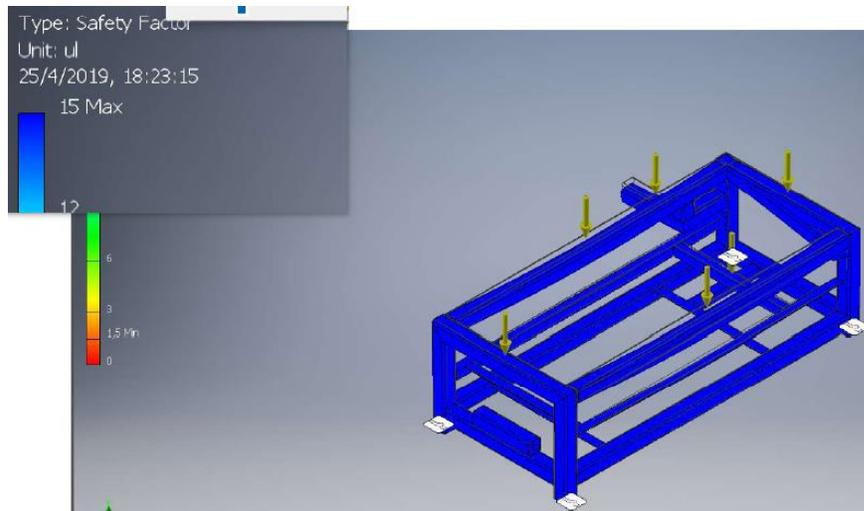


Figura 54. Factor de seguridad en la estructura [51].

En el Anexo 7 se muestra los perfiles seleccionados del catálogo de Dipac usados en la simulación y que cumplen con el diseño adecuado para la base [73].

### 3.4.2. Soporte para el brazo giratorio de apoyo

Para el análisis de cargas en el brazo giratorio se considera una carga muerta de 120.17 N obtenida de la Tabla 16 y carga viva de 133.27 N donde se considera la masa de los donuts cargada en la tolva, adicional se considera una carga por apoyo en la Figura 56 se visualiza el ingreso de parámetros donde se considera el traslado de cargas al eje principal del sistema estático [74].

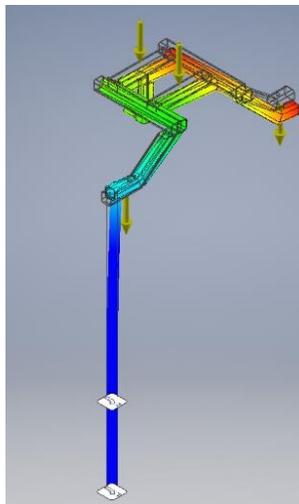


Figura 55. Diagrama para el brazo giratorio de apoyo [51].

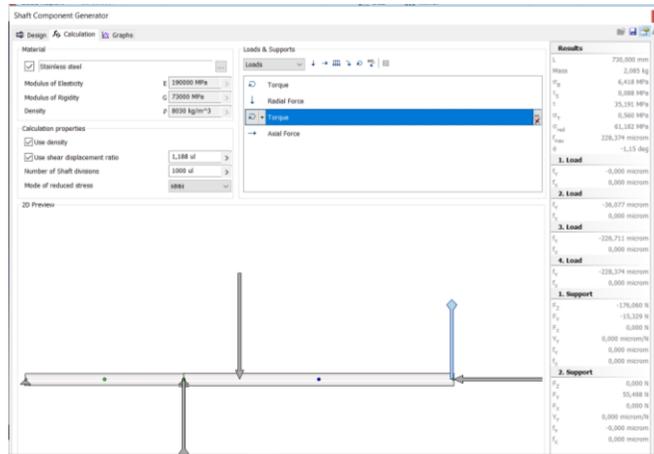


Figura 56. Traslado de cargas al eje principal [51].

Al ejecutar el cálculo se considera como material el acero inoxidable y se puede visualizar en la Figura 57 el diagrama de momento flector, además en los resultados podemos visualizar el  $\sigma_x$  esfuerzo máximo y el  $\tau_{xy}$  esfuerzo cortante máximo.

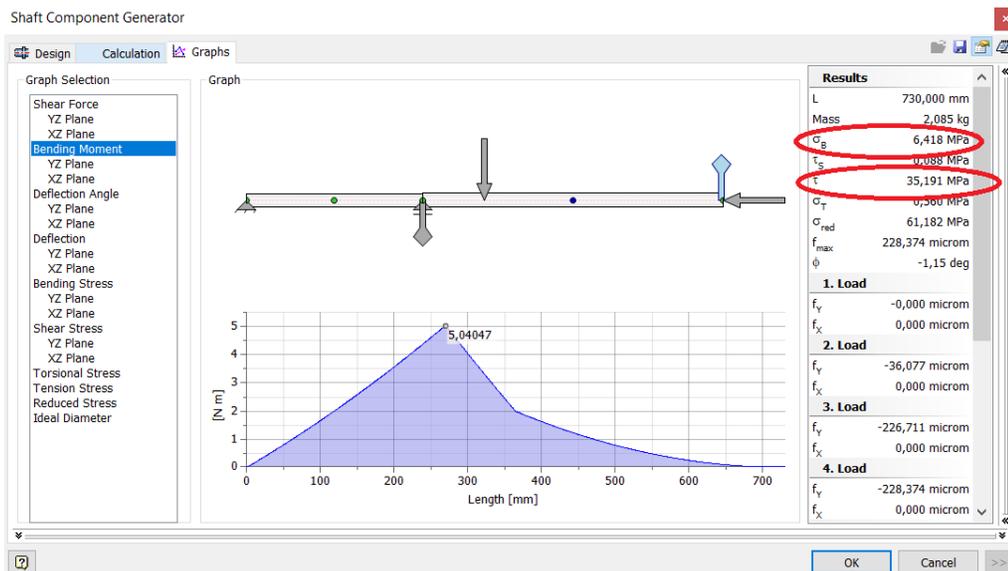


Figura 57. Diagrama momento flector [51].

Mediante el análisis de fallas específicamente la teoría de la energía de distorsión con la Ec. (34) da como resultado un esfuerzo efectivo de Von Mises para material dúctil, donde se evalúa la resistencia a la fluencia del eje [57].

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. (34)}$$

Dónde:

$\sigma'$ : Esfuerzo de Von Mises

$\sigma_x$ : Esfuerzo máximo en x

$\sigma_y$ : Esfuerzo máximo en y de 0 en este caso

$\tau_{xy}$ : Esfuerzo cortante máximo en xy

Al reemplazar valores se obtiene:

$$\sigma' = 61.28 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de Von Mises se procede a evaluación mediante la Ec. (35), donde el  $S_y = 175.81 \text{ MPa}$  acorde al Anexo 1 y se determina el factor de seguridad.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (35)$$

Al reemplazar se obtiene:

$$n = \frac{175.81 \text{ MPa}}{61.28 \text{ MPa}} = 2.86$$

El factor de seguridad es el adecuado, procedemos a determinar la dimensión del eje con la Ec. (36) donde el momento máximo es  $M_{\max} = 5.04 \text{ Nm}$ .

$$S = \frac{M_{\max}}{0.6 S_y} \quad \text{Ec. (36)}$$

Al reemplazar se obtiene:

$$S = 4.77 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

El módulo de una sección circular se representa en la Ec. (37) para determinar el diámetro ideal del eje.

$$S = \frac{\pi d^3}{32} \quad \text{Ec. (37)}$$

Al despejar el diámetro y reemplazar el módulo de la sección circular obtenido de la Ec. (37) se obtiene:

$$d = 7.86 \text{ mm}$$

Por facilidad dimensional y recomendación del diseñador de ejes en inventor se utiliza un eje con diámetro  $d = 22 \text{ mm}$  para el soportar la cabeza de mando con los accesorios de la inyección y tolva cargada al máximo.

### 3.5. Diseño de juntas permanentes y no permanentes

#### 3.5.1. Juntas permanentes

Para el diseño de junta permanente se considera a la parte más crítica, siendo la junta en la leva mostrado en la Figura 58, la carga correspondiente es 117,72 N, el área de la garganta es  $A = 53.3 \text{ mm}^2$ , el segundo momento de inercia unitario para esta junta es  $I_u = 201.06 \text{ mm}^3$  [47].

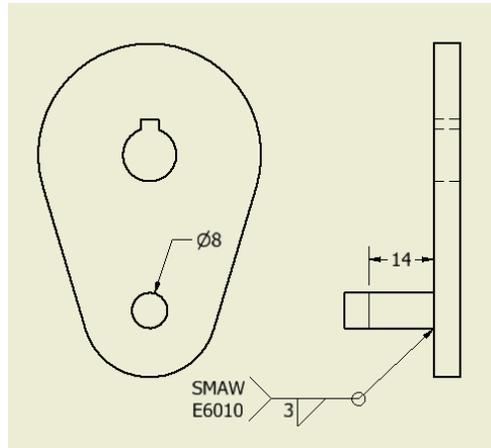


Figura 58. Junta permanente más crítica.

Se procede a calcular el esfuerzo cortante vertical mediante la Ec. (38) y el esfuerzo cortante horizontal mediante la Ec. (39).

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$\tau'' = \frac{Mc}{0.707hI_u} \quad \text{Ec. (39)}$$

Al reemplazar se obtiene:

$$\tau' = 2.20 \text{ MPa}$$

$$\tau'' = 11.59 \text{ MPa}$$

Se combina vectorialmente en un solo esfuerzo mediante la Ec. (40)

$$\tau = \sqrt{\tau' + \tau''} \quad \text{Ec. (40)}$$

Obteniéndose como resultado:

$$\tau = 11.8 \text{ MPa}$$



$F_i = 9.15$  lbf del peso de los componentes que sujeta mediante la Ec. (43) se obtiene el esfuerzo de servicio.

$$\sigma_b = c \frac{P}{A_t} + \frac{F_i}{A_t} \quad (43)$$

Remplazando valores da como resultado lo siguiente:

$$S_p > \sigma_b$$

$$33 \text{ Ksi} > 0.30 \text{ Ksi}$$

Las conexiones a tensión resisten la carga satisfactoriamente. Ahora existe un perno con las mismas características sometido a esfuerzos cortantes como se indica en la Figura 60.

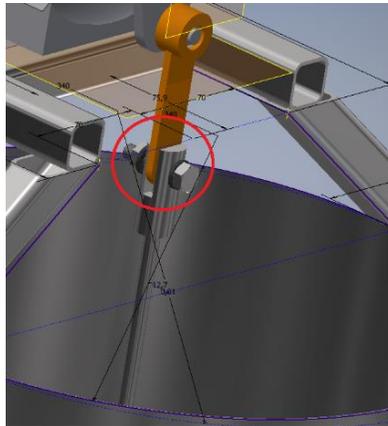


Figura 60. Junta No permanente a cortante.

Para este caso se utiliza la Ec. (44) para determinar el esfuerzo cortante máximo, donde la carga es  $V = 26.46$  lbf y el área de proyección del perno en cortante es  $A = 0.147$  pulg<sup>2</sup>.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. (44)}$$

Al reemplazar se obtiene:

$$\tau = 0.18 \text{ Ksi}$$

Mediante el criterio de esfuerzo permisible máximo en la Ec. (45) evaluamos para un  $\tau_{perm} = 0.6 S_y$  en un perno SAE grado 1 de acero bajo.

$$\tau_{perm} > \tau \quad (45)$$

$$21.6 \text{ Ksi} > 0.18 \text{ Ksi}$$

La junta no permanente sometida a cortante resiste satisfactoriamente la carga.

### 3.6. Sistema de control y automatización

#### 3.6.1. Proceso y control en lazo cerrado

En el diseño de control se ha considerado el sistema de lazo cerrado como se muestra en la Figura 61 de esta manera se garantiza el desarrollo continuo del proceso, mediante un control retroalimentado, frente a la presencia de perturbaciones es capaz de reducir el rango de error a uno aceptable [75].

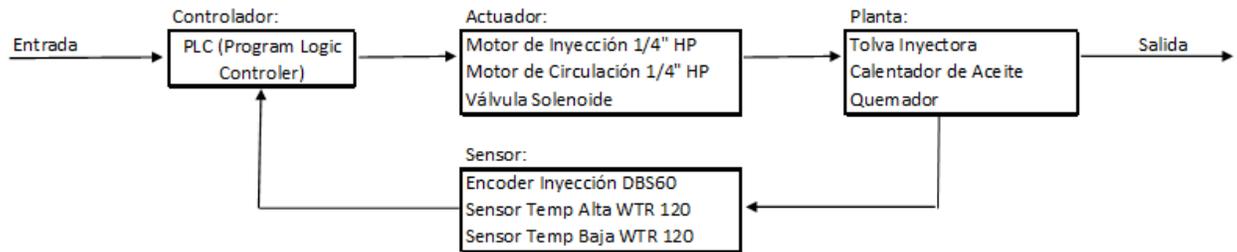


Figura 61. Diagrama de control maquina semi automática para fabricación de donuts [51].

Correspondiente al diagrama se puede describir lo siguiente:

Entrada: Cantidad de unidades de donuts requeridas en el pedido.

Controlador: PLC encargado de interpretar la entrada y enviar las señales a los actuadores; una vez ejecutado inmediatamente durante el transcurso del proceso las señales fluctúan según las condiciones retroalimentadas por los sensores.

Actuador: Ejecutor del trabajo en el caso del motor la regulación de velocidad y para el solenoide la regulación de caudal.

Planta: Espacio físico donde se da la elaboración del producto.

Sensor: Retroalimentación de señal para garantizar el cumplimiento del producto.

Salida: Producto terminado en la fase de inyección y cocción.

#### 3.6.2. Identificación de variables en el sistema de automatización

Las variables pueden ser definidas o no definidas según su tipo generalmente en un sistema de automatización son entradas, salidas y memorias en la Tabla 17 se muestra las variables consideradas para la maquina semiautomática de donuts [76].

Tabla 17. Identificación de variables

Variable	Símbolo	Dirección	Descripción
Entradas	ENC_IN_A	I0.0	Línea analógica A PLC-Encoder
	ENC_IN_B	I0.1	Línea analógica B PLC-Encoder
	PUESTA_0	I0.2	Puesta a cero
	ARRANQUE	I0.3	Pulsador ARRANQUE
	MARCHA	I0.4	Pulsador MARCHA
	TEMP_MIN	I0.5	Temperatura Mínima de trabajo en aceite
	TEMP_MAX	I0.6	Temperatura Máxima de trabajo en aceite
	PARADA	I0.7	Pulsador PARADA
Salidas	S0	Q0.0	Energización de solenoide
	S1	Q0.1	Accionamiento de piloto
	S2	Q0.2	Puesta en marcha a motor de inyección
	S3	Q0.3	Puesta en marcha a motor de circulación
	S4	Q0.4	Control temperatura
	S5	Q0.5	Pulsos enviados por el Encoder
Memorias	R0	M0.0	Registro de Arranque
	R1	M0.1	Parada de motor circulación
	R2	M0.2	Registro Temperatura Baja
	R3	M0.3	Registro Temperatura Alta

Realizado por: Salas y Calahorrano

### 3.6.3. Funcionamiento Automático de la máquina semiautomática de donuts

El sistema automático está diseñado para ejecutar una serie de secuencias para garantizar el objetivo de fabricación a continuación se describe su funcionamiento:

1. El operario acciona el pulsador ARRANQUE.
2. Inmediatamente se acciona el quemador por el solenoide y el piloto.
3. El operario debe accionar el pulsador MARCHA, una vez ingresado los parámetros de cantidad y el rango de temperaturas para la cocción.
4. Entra en funcionamiento los motores para la inyección y circulación de los donuts.
5. Se abre paso al control de operación.

- a. Control de temperatura manteniendo la cocción adecuada.
  - b. Control de producción mediante el conteo que realizado entre el encoder y el autómeta.
6. Dado el cumplimiento de producción se desactiva el quemador y el motor inyector.
  7. Al transcurso de 20 segundos se detiene el motor de circulación.
  8. La producción fue realizada con éxito, la maquina está detenida y se puede apagar.

### 3.6.4. Programación Leader

La interpretación del PLC es necesaria para lograr el funcionamiento correcto, la programación leader comprensible para el autómeta se muestra en el Anexo 8, la programación principal da cumplimiento al funcionamiento automático de la máquina.

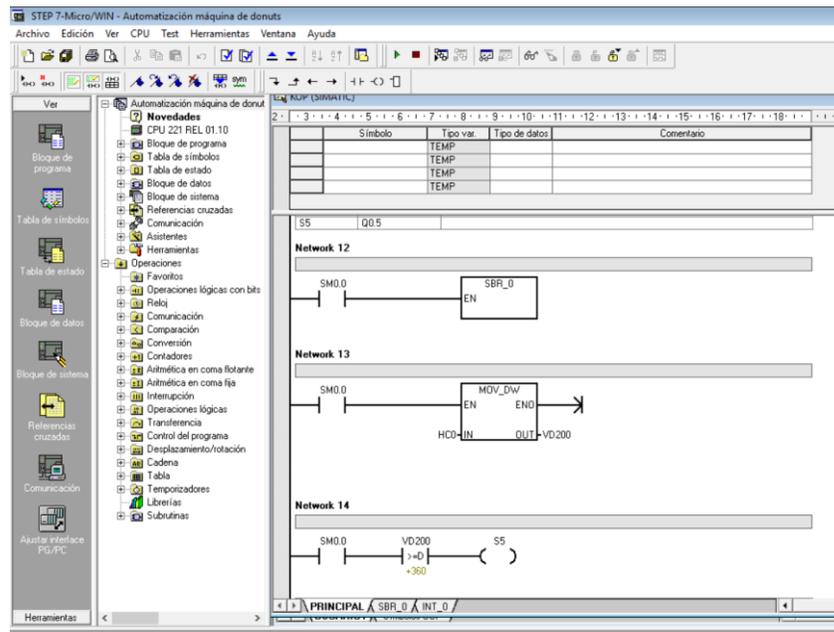


Figura 62. Programa principal para reconocimiento del encoder [51].

El encoder requiere de una programación principal como se muestra en la Figura 62 adicional en concordancia con el manual también requiere de una programación secundaria que se muestra en el Anexo 8, donde es importante la marca SM37 es un registro en concordancia con el Anexo 9 que permite controlar el contador rápido HSC0 designado para el encoder incremental [77].

### 3.6.5. Simulación PC-SIMU

La programación ladder realizada en Micro/WIN se puede verificar su funcionamiento con ayuda de la herramienta PC-SIMU se ha considerado crear una interfaz que se muestra en la Figura 63 para mejor comprensión del usuario y realizar mejoras a la automatización.

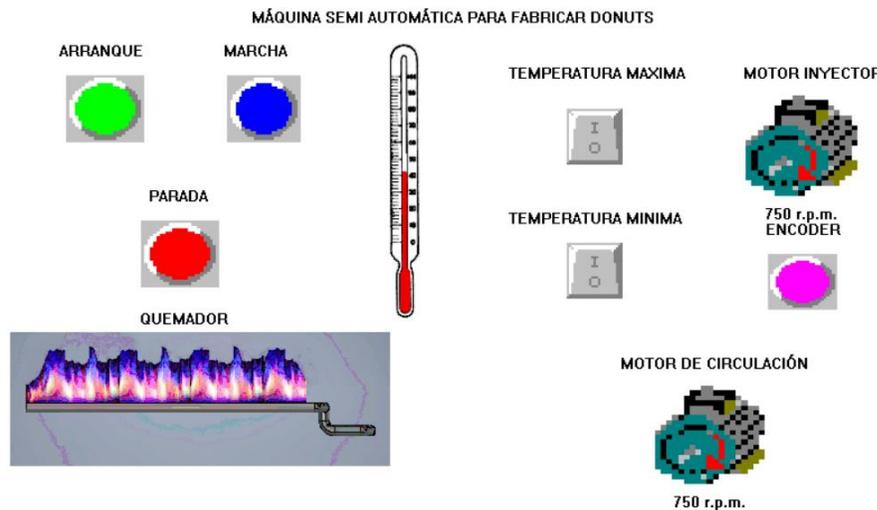


Figura 63. Interfaz de automatización en PC-SIMU [51].

Se puede denotar en la interfaz los accionados ARRANQUE, MARCHA y PARADA; También se tiene los elementos a controlar como los motores y el quemador; Adicional se puede verificar que están las señales de retroalimentación provistas por los sensores de temperatura y el encoder incremental.

Al cargar el programa y sincronizar con la interfaz de PC-SIMU para la máquina semiautomática de donuts tenemos lo mostrado en la Figura 64. En este enlace se puede

verificar la veracidad de la automatización porque al realizarlo en real podría quemarse los equipos por fallos en la programación [78].

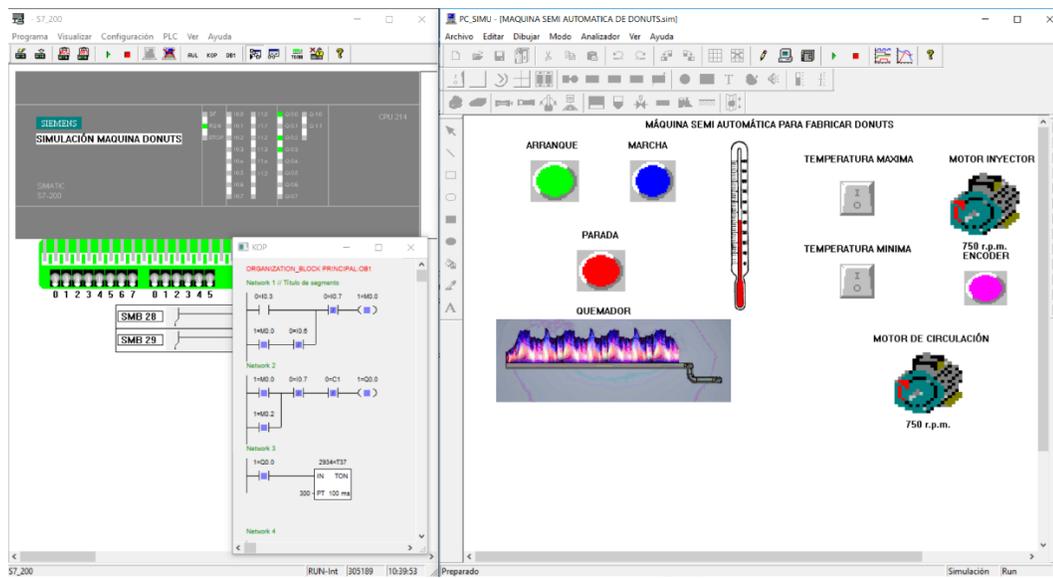


Figura 64. Pantalla de sincronización en la simulación [78].

## CAPITULO IV

### 4. Pruebas y análisis

#### 4.1. Pruebas de funcionalidad con prototipo de inyección

Para verificar la veracidad del diseño y simulación fue necesario la construcción de un prototipo donde se pueda analizar el funcionamiento del sistema más crítico correspondiente a la inyección de la masa de donuts en la Figura 65 se puede visualizar el prototipo construido y utilizado para las pruebas.



Figura 65. Prototipo para inyección de masa de donuts [51].

En la construcción del prototipo se consideró los parámetros de diseño del capítulo anterior, la fase constructiva se detalla en el Anexo 10 y durante su ejecución se realizó 3 pruebas de funcionamiento para llegar al diseño óptimo final.

##### 4.1.1. Recolección de datos

Los datos que se requiere evaluar es el diámetro externo, interno y peso del donut se ha considerado 10 muestras para la recolección de datos mediante los instrumentos de medición que se muestra en la Figura 66, consta de un flexómetro marca Kyoto y una balanza marca Montero.



Figura 66. Instrumentos de medición para las pruebas [51].

Los datos obtenidos en las diferentes muestras se aprecian en la Tabla 18.

Tabla 18. Recopilación de datos en donuts

Muestra	Díámetro Externo [mm]	Díámetro Interno [mm]	Masa [gr]
1	105	45	114
2	101	42	89
3	110	45	106
4	95	50	64
5	98	40	86
6	95	40	58
7	102	40	68
8	95	36	94
9	106	50	86
10	112	55	96
Promedio	101.9	44.3	86

Realizado por: Salas y Calahorrano

Los datos de la medición en donuts reflejan valores promediados de diámetro exterior de 101.9 mm, diámetro interno 44.3 mm y un peso de 86 gr en la Figura 67 se visualiza las muestras de medición.



Figura 67. Muestras de donuts para la medición [51].

#### 4.2. Análisis de resultados

Se puede realizar una comparativa de los datos obtenidos en el muestreo realizado a nivel de Quito de la Tabla 9 y los datos en la medición de las muestras en la Tabla 17 en la Figura 68 y Figura 69 se puede apreciar la distribución normal de los datos obtenidos de las tablas.

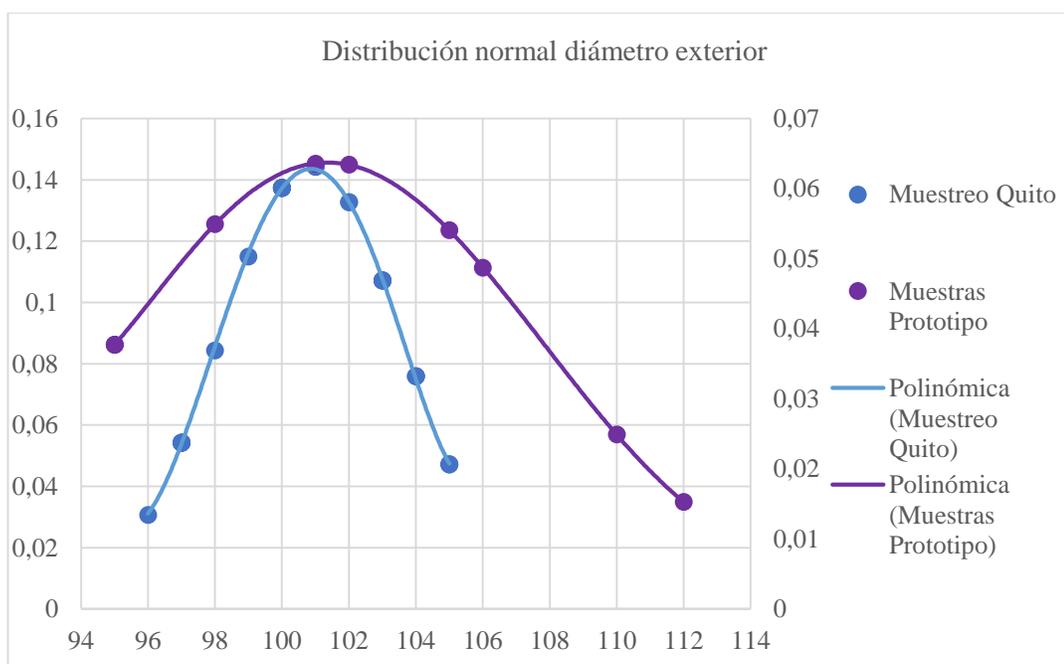


Figura 68. Distribución normal en función del diámetro externo [51].

Los resultados muestran que las muestras del prototipo cubren los parámetros de las mediciones realizadas en Quito dato de partida inicial para el diseño y aceptación del

producto. El valor promedio de las mediciones realizadas a las muestras obtenidas del prototipo es del 101.9 mm para el diámetro exterior muestra un error del 1,02 % a favor respecto a las mediciones en Quito.

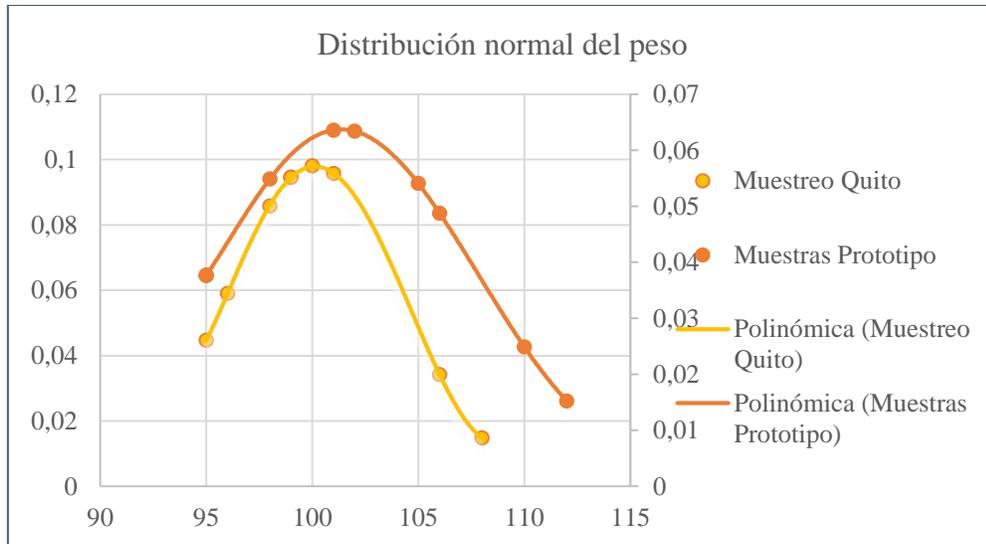


Figura 69. Distribución normal en función del peso [51].

De igual forma las muestras generadas por el prototipo cubren los parámetros de las mediciones realizadas en Quito. El valor promedio de las mediciones realizadas a las muestras del prototipo es de 86 gr correspondiente al peso del donut crudo, adicionando el peso del glaseado el peso a evaluar sería de 98.9 gr y muestra un error del 1,01 % en contra, pero aceptable.

El prototipo realizó la inyección de 10 donuts como se muestra en la Figura 70 corresponden a un peso de 0.86 kg en 95 segundos, la relación peso tiempo en horas es de  $32.58 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  corresponde a la producción óptima, sin embargo se considera restar un margen del 15 % por tiempos muertos, calibración, paros de emergencia, entre otros. La razón final producida por el prototipo es del  $27.69 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  superando a la razón propuesta de  $12 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  por 2.3 veces en producción y satisfaciendo el objetivo de estudio.



Figura 70. Inyección del donut realizado por el prototipo [51].

### 4.3. Análisis económico.

A continuación, se presenta el análisis de costos tales como: materia prima, de diseño, mecanizados, no planificados y de elementos normalizados. Que se emplearon en la construcción y diseño del equipo.

#### 4.3.1. Costos generales de la máquina.

Se realiza el análisis de cada uno de los costos empleados al diseño y fabricación del equipo, a continuación, en la Tabla 19 se detalla dichos costos.

Tabla 19. Costos Generales.

Costo	Descripción
	Materia prima
	Elementos normalizados
Costo directo	Maquinaria
	Mano de obra
	Diseño
Costo indirecto	Supervisión

#### 4.3.2. Costos de materia prima.

En la Tabla 20. Se muestra el desglose económico en dólares de la materia prima empleada en la fabricación del equipo.

Tabla 20. Costos materia prima.

Ítem	Detalle	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	Eje Acero inoxidable SAE 304	2	2,85	5,70
2	Plancha de acero inoxidable 430 acabado N° 4 Pulido 2B	3	45,00	135,00
3	Tubo cuadrado 1" x 2-8.9	1	10,02	10,02
4	Varilla TIG APORTE 308*1/16 Acero Inox.	1	7,14	7,14
5	Tubo cuadrado 1- 1/4" x 1.5-8.2	1	9,09	9,09
6	Placa de Al (Base)	1	5,00	5,00
7	Grilon D=100mm x 20 mm	1	8,00	8,00
<b>TOTAL (USD)</b>				<b>179,95</b>

Realizado por: Salas y Calahorrano

### 4.3.3. Costo de elementos normalizados

Para los costos normalizados indicados en la Tabla 21, son aquellos que se rigen en catálogos por diferentes casas comerciales.

Tabla 21. Costos de elementos normalizados.

Ítem	Detalle	Cantidad	Costo	Costo
			Unitario	Total
			(USD)	(USD)
1	Motor 1/4 HP	1	120,00	120
2	Rodamientos	9	1,33	11,97
	SKF para altas Temperaturas			
3	Arrancador EBAS 9-13A	1	27,77	27,77
4	Cable	3	2,277	6,831
	concéntrico 4*12			
5	Terminal 3/16 #12-10	6	0,143	0,858
6	Terminal	10	0,054	0,54
	Puntera 12-10 Gris			
7	Perno	2	0,10	0,2
	Hexagonal SAE G2 UNC 5/16x2			
8	Perno	4	0,065	0,26
	Hexagonal SAE G2 UNC 5/16x1			
9	Rodela Plana SAE 5/16	12	0,02591	0,31092
10	Rodela Presión SAE 5/16	6	0,0167	0,1002
11	Rodela Presión SAE 1/4	4	0,0109	0,0436

12	Rodela Plana SAE 1/4	4	0,02276	0,09104
13	Perno Hexagonal SAE G2 UNC 1/4X1	4	0,03680	0,1472
14	Disco de corte DW44602 7X1/16X7/8 RPM	1	2,955	2,955
15	Disco FLAP TOP 4 1/2x7/8 G80	1	3,62	3,62
16	Catalina Paso=9,525	1	22,00	22,00
17	Engrane Z=40 D=125mm	1	65,00	65,00
18	Piñón Z=16 D=50mm	1	47,00	47,00
			<b>TOTAL</b>	
			<b>(USD)</b>	309,69

---

Realizado por: Salas y Calahorrano

#### 4.3.4. Costo de maquinado

Para este tipo de costo está directamente vinculado entre la mano de obra y el uso de maquinaria para realizar algún tipo de trabajo en específico entre los más comunes son: los mecanizados, soldados y los ensamblados. A continuación, en la Tabla 22 se muestran los costos de maquinado.

Tabla 22. Costos de maquinado.

<b>Máquina</b>	<b>Tiempo usado (Hora)</b>	<b>Costo hora/máquina (USD)</b>	<b>Costo total (USD)</b>
Torno	2	10	20
Fresa	2	10	20
Sierra de cinta	1	5	5
Cizalla	1	5	5
Amoladora	3	5	15
Taladradora	2	8	16
Suelda MIG	6	5	30
Compresor	4	3	12
Corte y Barolado	3	15	45
Corte de plasma	1	15,29	15,29
<b>TOTAL (USD)</b>			<b>183,29</b>

Realizado por: Salas y Calahorrano

#### 4.3.5. Costo de mano de obra.

En la Tabla 23. Se indica el costo de mano de obra empleada en la fabricación del equipo

Tabla 23. Costos de mano de obra.

<b>Salario mensual (USD)</b>	<b>Salario/hora</b>	<b>Horas empleadas</b>
650	2,71	210
<b>TOTAL (USD)</b>		<b>569,10</b>

Realizado por: Salas y Calahorrano

#### 4.3.6. Costo de diseño

Son aquellos que corresponden al costo de ingeniería, es decir: investigación, diseño, calculo y planos correspondientes al tema que se está realizando.

#### 4.3.7. Costos no planificados.

Costos no presupuestados y no planificados, que no afectan el proceso de manufactura del equipo, los cuales son insumos de oficina, alimentación y transporte.

#### 4.3.8. Costo total de la máquina.

En la Tabla 24. Se detalla cada uno de los costos dándonos como resultado el costo total del equipo.

Tabla 24. Costo total de la máquina.

<b>Costo</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor (USD)</b>
<b>Directo</b>	Materia prima	179,95
	Elementos normalizados	309,69
	Mecanizado	183,29
	Mano de obra	569,10
<b>Indirecto</b>	Ingeniería y diseño	830,00
	Costos no planificados	120,00
	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>2192,03</b>

Realizado por: Salas y Calahorrano

#### 4.3.9. Cálculo de VAN y TIR.

El presente proyecto fue investigado, diseñado y construido como un aporte para las pequeñas y medias empresas, por lo que la inversión inicial de \$ 2192,03 obtenida de la Tabla 24. Es un valor que se puede acceder de una manera fácil sin la necesidad de un endeudamiento prolongado. Se realiza un pequeño cálculo de valores tanto de ingresos como egresos, se toman datos obtenidos de una pequeña repostería que realiza donas para la venta estudiantil, el historial de gastos e ingresos obtenidos los 5 años anteriores en dicha repostería, tiene un promedio de \$600 mensuales (\$7,200 anuales) de ingresos y

egresos aproximadamente entre \$500 a \$550, por lo que obtenemos una media de \$525 mensuales (\$6,300 anuales).

El indicador VAN nos debe resultar positivo para considerar que el proyecto que se está realizando sea factible, midiendo los flujos futuros de ingresos como de egresos que asumirá el proyecto. Consideramos también la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es la rentabilidad que ofrece la inversión, si el TIR es alto, consideramos rentable al proyecto.

Tabla 25. Datos de proyección.

<b>Datos</b>	<b>Valores</b>
# periodos	5
Tipo	anual
Tasa descuento ( <i>i</i> )	10%
Inversión inicial	2192,03

Después de realizar los respectivos cálculos se obtiene los valores tanto del TIR y VAN como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Cálculo TIR y VAN.

<b>Ingresos</b>		<b>Egresos</b>		<b>Flujo neto</b>	
<b>Año</b>	<b>Valor</b>	<b>Año</b>	<b>Valor</b>	<b>Año</b>	<b>Valor</b>
<b>0</b>	0	0	2192,03	0	-2192,03
<b>1</b>	7200	1	6300	1	900
<b>2</b>	7700	2	6800	2	900
<b>3</b>	8200	3	7300	3	900
<b>4</b>	8700	4	7800	4	900
<b>5</b>	9200	5	8300	5	900
<b>Total</b>	41000	Total	38692,03	Total	2307,97
	VAN				\$1219,71
	TIR				30,00%

Realizado por: Salas y Calahorrano

De los resultados obtenidos de la Tabla 26, se concluye que como el VAN es positivo y el TIR es alto, por lo tanto, concluimos que la propuesta es viable.

## Conclusiones

En el muestreo realizado a nivel de quito se pudo determinar la existencia de un mercado con necesidad de consumo por los donuts aceptable; En el análisis financiero refleja valores en la tasa interna de retorno (TIR) del 30 % y el valor actual neto (VAN) de \$1219,71 por lo que el proyecto es viable mostrando ser una alternativa idónea para la pequeña y mediana empresa enfocados al sector de panificación a nivel de quito.

El diseño de los diversos componentes mecánicos como mecanismo biela-manivela, tolva porta masa, transmisión de catalina-piñón, sistema de cocción entre otros elementos que conforman la maquina semiautomática de donuts, permitió desarrollar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica mostrando exigencia en los requerimientos de resistencia y automatización fácilmente superados con la constancia.

El software de diseño Autodesk Inventor fue una herramienta útil para facilitar el dimensionamiento de los componentes mediante sus librerías normalizadas; De la mano con los criterios de diseño se obtuvo en el acero inoxidable un factor de seguridad de 15 en la tolva, en el eje de inyección y los elementos del sistema de circulación. En el mecanismo de biela-manivela se evidencia un factor de seguridad del 7.03 en la biela al estar realizada de acero A-36. En el piñón se refleja un factor de seguridad de 4.7 aceptable en el diseño por método AGMA. Aplicando el criterio de Von Mises en el eje del brazo giratorio presenta un factor de seguridad de 2.86, todos los resultados reflejan la factibilidad y seguridad de la máquina.

En las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo se pudo demostrar el ahorro de tiempo y eficiencia al tener 2.3 veces más de producción en el mismo tiempo planteado inicialmente, facilitando la elaboración y formación de donuts en comparación con la elaboración artesanal, satisfaciendo las necesidades de consumo a nivel de quito.

Al momento de construir el prototipo se pudo dar validez al diseño de partida, mejorarlo y constatar lo simulado en concordancia a la prueba de funcionamiento, mediante la verificación de medidas del producto final. Igualmente se corroboró la superación del tiempo de producción propuesto de 12 kg/h a 27.69 kg/h sin dejar de lado el material adecuado para el contacto con alimentos.

## **Recomendaciones**

Existe la flexibilidad en el diseño para incluir la preparación de la masa en la tolva por lo que se recomienda realizar pruebas de la masa de donuts ideal, antes de realizar las modificaciones correspondientes pues la incidencia del calor y el tiempo, da varianza en su viscosidad.

Optimizar el espacio dentro de la tolva para garantiza un mejor flujo de la masa de donuts cruda, ha esto también se recomienda dar más altura y menos diámetro al cuerpo de la tolva para adicionar la carga que genera la masa, siempre y cuando no afecte en resistencia a los elementos diseñados.

Al momento de realizar el mantenimiento de ser requerido el cambio de algún componente en el sistema de circulación de aceite considerar el diseño de los elementos deben ser iguales, similares o mejores para que no influya en el trabajo a temperaturas altas; Un caso puntual es el cambiar la transmisión de catalina por una transmisión con poleas es factible siempre y cuando el aislante externo de la bandeja mitigue en gran manera el paso de calor.

Inspeccionar el interior de la tolva en el equipo antes de su utilización para evitar la presencia de elementos que impidan su correcto funcionamiento al momento de la extracción de la masa, no se debe modificar ninguna conexión eléctrica, mecánica o neumática en el equipo sin previa asesoría de un técnico especializado.

## Bibliografía

- [1] B. MEDIA, «TENDENCIAS EN PANIFICACIÓN,» 02 02 2015. [En línea]. Available: <https://www.industriaalimenticia.com/articles/87642-tendencias-en-panificacion-2015>.
- [2] M. SABOR, «EL MERCADO ACTUAL DEL PAN,» 2010. [En línea]. Available: <http://mundosabor.es/sabias-que/curiosidades/el-mercado-actual-del-pan.html>.
- [3] S. DONUTS, «SHIPLEY DONUTS,» [En línea]. Available: <https://www.shipleydonuts.com/the-history-and-origin-of-the-donut/>.
- [4] Omnia, «Vanguardia MX,» [En línea]. Available: <https://vanguardia.com.mx/articulo/donas-una-historia-redonda-que-crecio-toda-maquina>.
- [5] Fraunhofer, Alan M. Turing to Joseph von; Braille, Cleveland Abbe to Louis, «How products are made,» [En línea]. Available: <http://www.madehow.com/>.
- [6] L. V. d. I. Mora, «Panadería económica,» 14 05 2004. [En línea]. Available: <https://www.conevyt.org.mx/educhamba/pdfs/panaderia/donas.pdf>.
- [7] E. Bellver, «Donuts caseros,» *Ok Diario*, p. 5, 2017.
- [8] C. H. PINTO FAJARDO y H. DURÁN SÁNCHEZ , DISEÑO, MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE ALIMENTOS, BOGOTA D.C., 2006.
- [9] Bravo, J., Ruales, J., Sanjuán, N. y Clemente, G. , Innovaciones en el proceso de fritura al vacío de alimentos, Valparaiso, Chile, 2006.
- [10] G.-D. J.C, «Evaluación de las propiedades físicas de la masa de las donas durante la fritura profunda a diferentes temperaturas,» *articulos originales* , p. 9, 2014.
- [11] Virginia, «DONUTS. PASO A PASO Y CONSEJOS PARA CONSEGUIR EL

- DONUT PERFECTO.,» *SWEET AND SOUR*, n° 4, p. 8, 1 marzo, 2013.
- [12] B. A. B. GROUP, DONUT ROBOT OPERATOR'S MANUAL, AUBURN: BELSHAW ADAMATIC BAKERY GROUP, 2016.
- [13] J. E. SHIGLEY, Teoría de Máquinas y Mecanismos, ISBN 968·451·297·X , 1988.
- [14] C. F. Sinay Estrada y J. C. Campos País, «Sistema funcional de bandas de transmisión y poleas,» de *DISEÑO DE MAQUINAS 2*, GUATEMALA, 10.13140/RG.2.2.21678.92489} , 2016.
- [15] Eybar Farith Contreras Villamizar; Rolando Sánchez Rodríguez, «Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos,» 2010. [En línea]. Available:  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf#page=57&zoom=100,0,113>.
- [16] B. M. Rodriguez, «Catarina s,» *SCRIBD*, vol. 1, n° 1, p. 150, 2010.
- [17] Joseph Edward Shingley; John Joseph Uicker, Teoría de máquinas y mecanismos, México: Mc Graw Hill, 1988.
- [18] Sbreitzmann, «Moline,» 10 09 2013. [En línea]. Available:  
<http://www.moline.com/wp-content/uploads/2017/05/CuttingStationsBulletin800.pdf>.
- [19] M. Flecha, Procesos y técnicas de panificación, 2015.
- [20] M. Rodriguez, «Tema 4. Extrusión,» 03 07 2009. [En línea]. Available:  
<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.
- [21] E. L. E. C. Guananga, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO EN UNA MÁQUINA, Ambato, 2010.
- [22] o. J. H. Santos., «Técnicas de Automatización Industrial,» *GestioPolis*, vol. 1, pp. 44-102, 2006.

- [23] ., A. A. Paredes Vargas y F. . E. Nery Zaveleta, , INVESTIGACION EN EL CURSO DE AUTOMATIZACIÓN Y ROBOTICA EN EL TEMA DE ACTUADORES, Trujillo-Peru, 2014.
- [24] J. J. Aux Moreno y L. M. Benavides Lasso, Control automatizado de un sistema de amasado, Pasto, 2016.
- [25] PCE, «PRODUCTOS PCE,» PCE INSTRUMENTS, 11 01 2018. [En línea]. Available: [https://www.pce-instruments.com/espanol/sistemas-regulacion-control/sensorica/sensor-temperatura-pce-instruments-sensor-de-temperatura-wtr-120-det\\_101606.htm?\\_list=kat&\\_listpos=1](https://www.pce-instruments.com/espanol/sistemas-regulacion-control/sensorica/sensor-temperatura-pce-instruments-sensor-de-temperatura-wtr-120-det_101606.htm?_list=kat&_listpos=1). [Último acceso: 11 06 2019].
- [26] CICSA, «CICSA,» MAXON A HONEYWELL COMPANY, 24 07 2018. [En línea]. Available: <http://cicsa-maxon.com.mx/valvula-solenoide-8210g95/>. [Último acceso: 01 06 2019].
- [27] COMPANY, WEG, «Motores eléctricos guía de especificación,» 21 12 2016. [En línea]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h82/WEG-motores-electricos-guia-de-especificacion-50039910-brochure-spanish-web.pdf>.
- [28] C. Atchley, «Baking business,» 25 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.bakingbusiness.com/articles/46442-a-bakers-guide-to-frying-donuts>.
- [29] Equipement, Mastro Catering, «Freidora a gas,» 19 04 2006. [En línea]. Available: [http://www.mastroshop.com/common/manuals/ADC0001\\_2\\_MA\\_E.pdf](http://www.mastroshop.com/common/manuals/ADC0001_2_MA_E.pdf).
- [30] Admin, «Guías prácticas.com,» 13 02 2014. [En línea]. Available: <http://www.guiaspracticas.com/electrodomesticos-para-cocinar/freidora>.
- [31] company, Ali group, «Belshaw Adamatic,» [En línea]. Available: <http://www.belshaw-adamatic.com/catalog/retail-equipment/donut-machines---donut-robotreg/donut-robot-mark-ii-automated-donut-maker-for-standard-size-donuts-capacity-37-dozenhour-electric>.
- [32] P. Industriales, «Quemadores,» [En línea]. Available:

[https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla\\_id=75](https://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=75).

- [33] Arroyo, «Temarios formativos profesionales,» [En línea]. Available: <https://temariosformativosprofesionales.wordpress.com/2013/01/26/quemador-de-gas/>.
- [34] Espin Landivar, Daniel Alejandro; Méndez Lara, Ronald Omar;, «Diseño de un quemador industrial de gas licuado de petróleo para secado de grano de maíz,» [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6648/1/CD-5029.pdf>.
- [35] A. M. Castillo, «Universidad de San Carlos,» 2015. [En línea]. Available: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3181\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3181_IN.pdf).
- [36] Borja, «Arrizabalagauriarte consulting,» 09 03 2016. [En línea]. Available: <http://arrizabalagauriarte.com/standards-of-the-food-industry-the-importance-of-haccp/>.
- [37] C. d. l. r. d. Ecuador, «Normativa técnica sanitaria para alimentos procesados,» 11 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06NOR2016-RESOLUCION03-1.pdf>.
- [38] Schmidt, Ronald; Erickson, Daniel;, «Diseño sanitario y construccion de equipos alimenticios,» [En línea]. Available: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/files/fs/fs11900.pdf>.
- [39] Moline, «Cake Donut Depositors and Tooling,» [En línea]. Available: <http://www.moline.com/equipment/cake-donut-depositors/>.
- [40] Moline, «MD81 Cake Donut Depositor,» 30 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.moline.com/wp-content/uploads/2017/05/Depositor-MD81Bulletin729.pdf>.
- [41] B. A. B. Group, «Donut robot automatic fryers,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.belshaw-adamatic.com/uploads/pdf/belshaw-adamatic-donut-robot-mark-2-mark-5-system.pdf>.

- [42] Hento, «Alibaba.com,» 2013. [En línea]. Available:  
[https://www.alibaba.com/product-detail/China-Manufacture-Automatic-Donut-Machine-Commercial\\_60763210584.html?spm=a2700.7735675.2017115.9.6d2N9J&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/China-Manufacture-Automatic-Donut-Machine-Commercial_60763210584.html?spm=a2700.7735675.2017115.9.6d2N9J&s=p).
- [43] Company, Ali Group, «Type B Cake donut Depositor,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.belshaw-adamatic.com/catalog/retail-equipment/donut-depositors---type-b-f-k-and-n/type-b-cake-donut-depositor-hand-crank-depositor-for-high-quality-cake-donuts>.
- [44] Team, Horizon Comunicati3n, «Horizon,» 05 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.horizonequipment.com/belshaw-cake-donut-depositor-type-b-rotary-crank>.
- [45] P. Ying, «Ebay,» 08 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/itm/Heavy-Duty-Manual-Doughnut-Hole-Donut-Ball-Maker-Machine-Fryer-with-3-Mold/172748885389?hash=item2838a2cd8d:g:xLsAAOSwOMdZUMMp:rk:14:pf:0>.
- [46] E. m. infinito, «Ventajas y desventajas de la producci3n artesanal,» [En línea]. Available: <https://elmundoinfinito.com/ventajas-desventajas-produccion-artesanal/>.
- [47] Budynas, Richard; Nisbett, Keith;, Dise1o en ingenier1a mec1nica de Shingley, Mexico: McGraw Hill, 2012.
- [48] Mart1nez, Mauricio; Ben1tez, Wilson;, «Dise1o y simulaci3n de un refrigerador amoniaco-agua acoplado a un colector solar de tipo intermitente con capacidad de enfriamiento 10 w,» 09 2018. [En l1nea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16151/1/UPS-ST003802.pdf>.
- [49] M. R. Asadabadi, «El m1todo estratificado de toma de decisiones multicriterio.,» 15 12 2018. [En l1nea]. Available: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/science/article/pii/S0950705118303502>.

- [50] G. Huber, Toma de decisiones en la gerencia, México: Trillas, 2013.
- [51] D. F. SALAS y D. J. CALAHORRANO, *AUTORIA PROPIA*, QUITO: 1, 2018.
- [52] J. Gómez-Daza, «Evaluación de las propiedades físicas de la masa de las donas durante la fritura profunda a diferentes temperaturas – Análisis crítico,» *UG Ciencias*, pp. 87 - 95, 2014.
- [53] N. Montes, I. Milar, R. Provoste, N. Martínez, D. Fernández, G. Morales y R. Valenzuela, «Absorción de aceite en alimentos fritos,» *Revista Chilena de Nutrición*, pp. 87 - 91, 2016.
- [54] A. Crocco, «Alimenta tu vida,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.aliciacrocco.com.ar/2013/09/absorcion-de-grasa-en-el-alimento/>.
- [55] D. Pescador, «Quo,» 2014. [En línea]. Available: <http://transformer.blogs.quo.es/2014/06/25/la-verdad-sobre-los-fritos/>.
- [56] R. Hibbeler, Mecánica de materiales, México: Pearson, 2006.
- [57] J. Shingley, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mexico: McGraw-Hill, 2010, p. 911.
- [58] Aceros Otero, «Aceros otero,» 2016. [En línea]. Available: [http://www.acerosotero.cl/planchas\\_acero\\_inoxidable\\_aisi\\_304\\_304l.html](http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_inoxidable_aisi_304_304l.html).
- [59] A. Pytel y F. Singer, Resistencia de Materiales, México: AlfaOmega, 1994.
- [60] W. COMPANY, «Weg,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.weg.net/institutional/EC/es/>.
- [61] Palmex, «Palmex,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.palmex.com/>.
- [62] R. Mott, Mecánica de fluidos aplicada, Mexico: Prentice hall, 2010.
- [63] J. Sanango y C. Sango, «Diseño de un mecanismo de apertura y cierre de una estructura adaptable para la camara de la pequeña y mediana empresa,» Septiembre 2015. [En línea]. Available:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11520/1/CD-6500.pdf>.
- [64] Roller, «Causer catalogo de producto,» 1948. [En línea]. Available: <http://www.roller.es/wp-content/catalogos/causer.pdf>.
- [65] R. Norton, Diseño de Maquinaria, Mexico: Mc Graw Hill, 2009.
- [66] SKF, «Rodamientos rígidos de bolas SKF para altas temperaturas,» [En línea]. Available: <http://www.rodamientos.com/catalogos/roda/skf01.pdf>.
- [67] Yunus A Cengel; Michael A Boles, Termodinámica, México D.F.: Mc Graw Hill, 2009.
- [68] Vaxa, «Vawa Software,» 2012. [En línea]. Available: [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/fis/calorespec.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/calorespec.pdf).
- [69] I. Lukačovič , «Windy.com,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.windy.com/-0.220/-78.510?-2.166,-79.901,5>.
- [70] Acimco, «Aislanglass,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.acimco.com/wp-content/uploads/documentos/productos-gypsum-12.pdf>.
- [71] A. Arrieta, F. Cadavid y J. Ospina, «Análisis comparativo de eficiencia de cocción con gas natural y electricidad,» *Revista Facultad de Ingeniería*, pp. 98-105, 2001.
- [72] M. Hurth y A. Helios, «Flexibilidad del combustible en sistemas de turbinas de gas: impacto en el diseño y el rendimiento del quemador,» *Modern Gas Turbine Systems*, pp. 635-684, 2013.
- [73] Dipac , «Productos de acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubo-estructural-cuadrado-negro>.
- [74] R. Hibbeler, Ingeniería Mecánica Estática, Mexico: Pearson, 2010.
- [75] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Madrid: Pearson Educación S. A., 2010.

- [76] E. M. Pérez, J. M. Acevedo, C. F. Silva y J. Armesto, *Autómatas programables y sistemas de automatización*, Barcelona: Marcombo, 2009.
- [77] Siemens, «Manual del sistema de automatización S7-200,» Agosto 2008. [En línea]. Available:  
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>.
- [78] R. J. Ortega Morocho, «Diseño y construcción de un ascensor inteligente controlado por un PLC,» Septiembre 2013. [En línea]. Available:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6706/1/CD-5100.pdf>.
- [79] E. Nuclear, «Energía Nuclear,» 25 11 2016. [En línea]. Available: <https://energia-nuclear.net/definiciones/energia-electrica.html>.
- [80] D. Myszka, *Macines and Mechanism*, New Jersey: prentice Hall, 2005.
- [81] C. García y A. Sánchez , «Clasificaciones de la OMS sobre la discapacidad,» 4 6 2001. [En línea]. Available: [http://www.um.es/discatif/METODOLOGIA/Egea-Sarabia\\_clasificaciones.pdf](http://www.um.es/discatif/METODOLOGIA/Egea-Sarabia_clasificaciones.pdf). [Último acceso: 5 6 2001].
- [82] C. Torres, «MINSALUD,» 5 6 2005. [En línea]. Available:  
<https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/DisCAPACIDAD.aspx>.  
[Último acceso: 5 6 2005].
- [83] A. Neumane, «Que es el conadis,» 6 8 2008. [En línea]. Available:  
<https://es.scribd.com/doc/52209298/QUE-ES-EL-CONADIS>. [Último acceso: 8 6 2008].
- [84] J. Torres, «Diccionarios,» 5 6 2008. [En línea]. Available:  
<https://www.definicionabc.com/salud/minusvalia.php>. [Último acceso: 5 6 2008].
- [85] F. Cordero, «Ley orgánica de discapacidades,» 25 6 2012. [En línea]. Available:  
[https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/ley\\_organica\\_discapacidades.pdf](https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/ley_organica_discapacidades.pdf). [Último

acceso: 25 6 2012].

- [86] A. Soiche, «Seguridad y salud en el trabajo,» 3 6 2000. [En línea]. Available: [http://training.itcilo.it/actrav\\_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm](http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm). [Último acceso: 6 5 2000].
- [87] J. Obando, «Efectos del ejercicio físico,» 6 5 1997. [En línea]. Available: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1130-52742008000100005&lng=es&nrm=iso](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-52742008000100005&lng=es&nrm=iso). [Último acceso: 6 5 1997].
- [88] D. Sota, «GrabCAD Community,» 25 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/pipe-rolling-machin-1>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [89] A. Patil, «GrabCAD Community,» 9 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/he-hydraulic-pipe-rolling-machine-1>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [90] R. Hibbeler, Mecánica para Ingenieros - Dinámica, México: Compañía Editorial Continental, 2006.
- [91] H. Rotbart, Mechanical Design and System Handbook, USA: McGraw Hill, 1961.
- [92] R. Hibbeler, Mecánica de Materiales, México: Pearson Education, 2006.
- [93] G. Budynas y J. Nisbet, Shigley's Mechanical Engineering Design, U.S.A: McGraw Hill Education, 2015.
- [94] A. Pytel y F. Singer, Resistencia de materiales, México: Alfaomega, 1987.
- [95] Budynas y Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, U.S.A: McGraw Hill, 2012.
- [96] DIPAC, «<http://www.dipacmanta.com/>,» [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/tubos/tubo-estructural-cuadrado-negro>. [Último acceso: 06 2018].

- [97] J. P. Porto, «Definición.d,» 5 6 2012. [En línea]. Available: <https://definicion.de/accesibilidad/>. [Último acceso: 6 5 2012].
- [98] T. mecánica, «Full Mecánica,» 5 6 2014. [En línea]. Available: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/f/484-factor-de-seguridad>. [Último acceso: 6 5 2014].
- [99] P. Gumel, «Riesgos laborales de los trabajadores,» 4 6 2015. [En línea]. Available: <http://riesgoslaborales.feteugt-sma.es/portal-preventivo/riesgos-laborales/riesgos-relacionados-con-la-hergonomia/ergonomia/>. [Último acceso: 3 6 2015].
- [100] P. Miguel, «La nación,» 5 6 2011. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos/discriminacion/discriminacion.shtml>. [Último acceso: 2 6 2011].
- [101] D. Tamayo, «Medlineplus,» 3 08 2017. [En línea]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/rehabilitation.html>. [Último acceso: 3 8 2017].
- [102] Shigley, Diseño de elementos, 2015, p. 50.
- [103] M. d. C. N. Veloz, «Slideshare,» 30 10 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/Carmitanoboa/5-ajustes-y-tolerancias-en-rodamientos>. [Último acceso: 5 6 2011].
- [104] J. E. Shigley y T. H. Brown, «Diseño mecánico,» New York, Mcgrawhil, 2004, p. 500.
- [105] C. Paredes, «Resortes madrigal,» 6 3 2007. [En línea]. Available: [http://www.resortesmadrigal.cl/produ/pasa/pasa\\_par\\_tec.html](http://www.resortesmadrigal.cl/produ/pasa/pasa_par_tec.html). [Último acceso: 7 6 2007].
- [106] J. D. B. Enriquez, «Repotenciación de una máquina baroladora,» Quito, 2013.
- [107] R. Hibbeler, Estática Mecánica para ingenieros, Sao Paulo: San Martin, 2005.
- [108] SKF, «Catálogos tolerancias y ajustes resultantes,» *SKF*, vol. 1, n° 15, p. 50, 6 5

2004.

[109] N. Bugarcic, «GRABCAD COMMUNITY,» 5 6 2017. [En línea]. Available:  
<https://grabcad.com/library/pipe-bending-machine-3>. [Último acceso: 9 5 2018].

[110] G. Schafer, Lubricación de rodamientos, Ibería- España: FAG, 2008.

## PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

### Norma: AISI 304

#### Especificaciones Generales

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

**ESPEORES** desde 0,40-1,5mm

**DIMENSIONES** 1220 x 2440mm (estándar)

1220 x otros largos (especial)



**Descripción:** Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

## ANEXO 2

### Platinas

Perfil laminado de acero, norma de fabricación NTE INEN 115; Calidad ASTM A 36 - SAE J 403 1008; disponible en presentación de Acero Negro y Galvanizado, lo puede encontrar en espesor es de 2mm a 3mm y se despacha en largos estándar de 6 metros, otras longitudes se pueden trabajar bajo pedido. Cotiza platinas de acero u otros perfiles laminados ahora.

#### Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

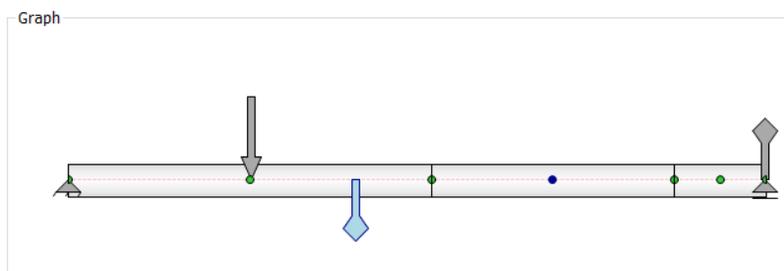
 **DESCARGAR CATÁLOGO**

Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	A	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80

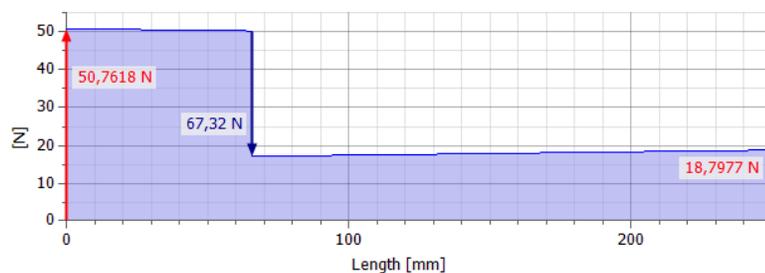


## ANEXO 3

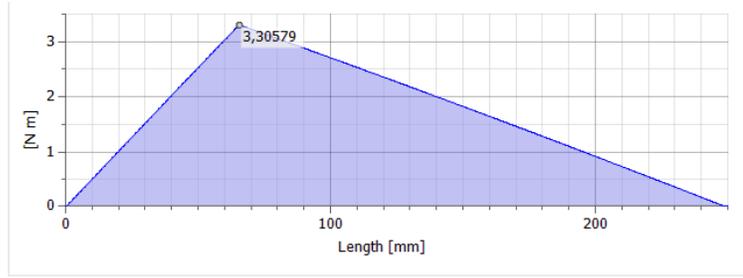
### Diagrama de cuerpo libre



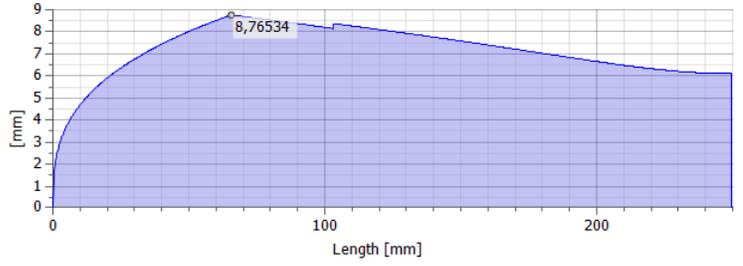
### Cortante



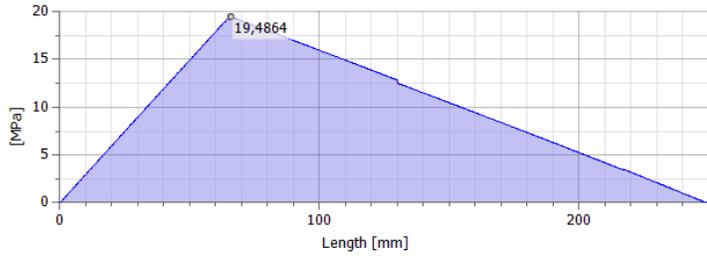
Momento



Esfuerzo Máximo



Diámetro Ideal



## ACERO SAE 1045

DIN	CK - 45
UNI	C - 45
AFNOR	XC - 45
SAE	1045

### CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

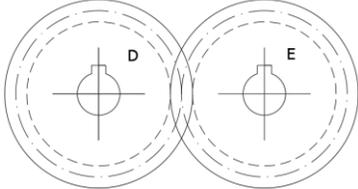
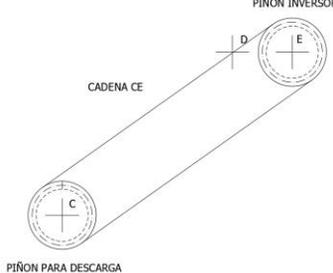
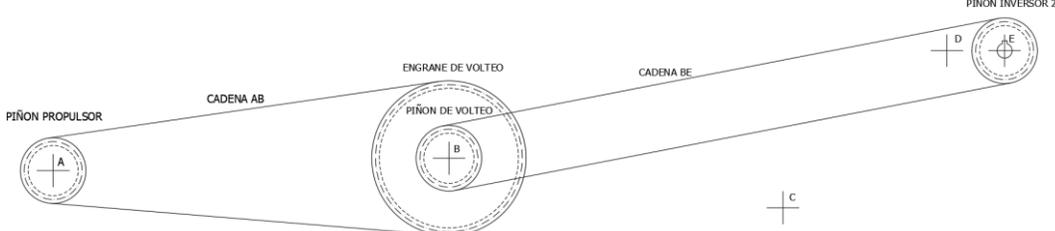
### PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm<sup>3</sup>.
- Módulo de elasticidad → 2 x 10<sup>11</sup> Pa (24 x 10<sup>6</sup> PSI).
- Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).
- Calor específico J/(Kg·K) → 460
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):  
a 32°F = 16.2  
a 212°F = 22.3
- Coeficiente de dilatación térmica / °C  
(20 - 100°C) 12.3 x 10<sup>-6</sup>  
(20 - 200°C) 12.7 x 10<sup>-6</sup>  
(20 - 400°C) 13.7 x 10<sup>-6</sup>

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO			
Diámetro de la barra: 12 a 38 mm			
Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

ANEXO 5

MECANISMO PARA LA CIRCULACIÓN DE ACEITE				
EJE	FUNCIÓN			
A	PROPULSIÓN DE ACEITE			D E
B	VOLTEO DE DONUTS			+ +
C	SACAR DONUTS DEL ACEITE			
D	DAR MOTRICIDAD AL MECANISMO	A	B	
E	DESCARGA E INVERSIÓN DE GIRO	+	+	C
Relación piñón motriz - piñón inversor		Relación piñón inversor 3 - piñón para descarga		
El piñón motriz es el encargado de transmitir el movimiento en sentido antihorario y el piñón inversor cambia el giro ha horario y facilita la descarga de los donuts.		El piñón para descarga saca los donuts del aceite con la ayuda de una banda acoplada a la cadena CE y finalmente descargan en el piñón inversor 3.		
<p>PIÑÓN MOTRIZ                      PIÑÓN INVERSOR</p> 				
Relación piñón inversor 2 - piñón de volteo		Relación engrane de volteo - piñón propulsor		
El piñón inversor 2 es el encargado de transmitir el movimiento en el mismo sentido horario con la ayuda de la cadena BE.		El engrane de volteo al poseer mayor dimensión transmite el movimiento y lo aumenta con la ayuda de la cadena AB al piñón propulsor que genera el movimiento de empuje en los donuts.		
				
Realizado por Daniel Salas y Dario Calahorrano				

ANEXO 6

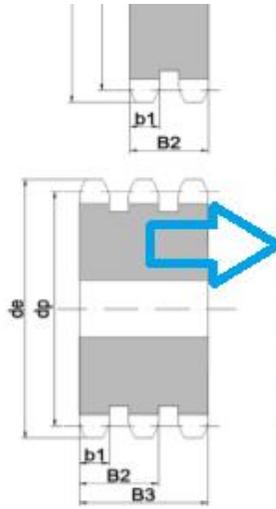
PIÑONES SPROCKETS		3/8"x7/32" 06B - 1 - 2 - 3	Z	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	Simple				
Para cadena de rodillos For roller chains		s/ DIN 8187 ISO/R 606				d <sub>m</sub>	D <sub>1</sub>	A	Kg.	d <sub>m</sub>
			8	28	24,89	15	8	20	0,03	15
			9	31	27,85	18	8	20	0,04	18
			10	34	30,82	20	8	20	0,05	20
			11	37	33,8	22	8	25	0,08	22
			12	40	36,8	25	8	25	0,1	25
			13	43	39,79	28	10	25	0,13	28
			14	46,3	42,8	31	10	25	0,16	31
			15	49,3	45,81	34	10	25	0,19	34
			16	52,3	48,82	37	10	28	0,24	37
			17	55,3	51,83	40	10	28	0,28	40
			18	58,3	54,85	43	10	28	0,33	43
			19	61,3	57,87	45	10	28	0,36	46
			20	64,3	60,89	46	10	28	0,39	49
			21	68	63,91	48	12	28	0,42	52
			22	71	66,93	50	12	28	0,46	55
			23	73,5	69,95	52	12	28	0,5	58
			24	77	72,97	54	12	28	0,54	61
			25	80	76	57	12	28	0,6	64
			26	83	79,02	60	12	28	0,66	67
			27	86	82,05	60	12	28	0,67	70
			28	89	85,07	60	12	28	0,69	73
			29	92	88,09	60	12	28	0,7	76
			30	94,7	91,12	60	12	30	0,72	79
			31	98,3	94,15	65	14	30	0,87	80
			32	101,3	97,17	65	14	30	0,89	80
			33	104,3	100,2	65	14	30	0,91	80
			34	107,3	103,23	65	14	30	0,92	80
			35	110,4	106,26	65	14	30	0,95	80
			36	113,4	109,29	70	16	30	1,05	90
			37	116,4	112,32	70	16	30	1,09	90
			38	119,5	115,35	70	16	30	1,1	90

PIÑÓN	SPROCKET	mm
Radio diente	Tooth radius	r3 10
Ancho curva	curve width	C 1
Ancho diente	Tooth width	B1 5,3
Ancho diente	Tooth width	b1 5,2
Ancho diente	Tooth width	B2 15,4
Ancho diente	Tooth width	B3 25,6

CADENA	CHAIN	mm
Paso	Pitch	9,525
Ancho interior	Inner width	5,72
Diámetro rodillo	Roller diameter	6,35



32	101,32	97,17	12	0,29	14	0,73	16	1,10
33	104,3	100,20	12		14		16	
34	107,3	103,23	12	0,34	14	0,85	16	1,29
35	110,4	106,26	12	0,36	14	0,90	16	1,37
36	113,4	109,20	12	0,38	14	0,95	16	1,44
37	116,4	112,32	12		14		16	
38	119,5	115,35	12	0,42	14	1,05	16	1,60
39	122,5	118,37	12		14		16	
40	125,5	121,40	12	0,47	14	1,18	16	1,79
41	128,5	124,43	16		16		16	
42	131,6	127,46	16		16		16	
43	134,6	130,49	16		16		16	
44	137,6	133,52	16		16		16	
45	140,7	136,55	16		16		16	
46	143,7	139,58	16	0,63	16	1,58	16	2,39
47	146,7	142,61	16		16		16	
48	149,7	145,64	16	0,69	16	1,73	16	2,62
49	152,7	148,66	16		16		16	
50	155,7	151,69	16	0,75	16	1,88	16	2,85
51	158,7	154,72	16		16		20	
52	161,8	157,75	16	0,82	16		20	3,12
53	164,8	160,78	16		16		20	
54	167,8	163,82	16		16		20	
55	170,8	166,85	16		16		20	
56	173,8	169,88	16	0,96	16	2,40	20	3,65
57	176,9	172,91	16	0,99	16	2,48	20	3,76
58	179,9	175,93	16		16		20	
59	183	178,96	16		16		20	
60	186	181,99	16	1,11	16	2,78	20	4,22
62	192,1	188,06	20		20		20	
64	198,2	194,12	20		20		20	
65	201,6	197,15	20	1,3	20	3,25	20	4,94
66	204,6	200,18	20		20		25	
68	210,7	206,24	20		20		25	
70	216,7	212,30	20		20		25	
72	222,8	218,37	20		20		25	
75	231,9	227,46	20		20		25	
76	234,9	230,49	20	1,8	20	4,50	25	6,84
78	241	236,55	20		20		25	
80	247,1	242,61	20	2	20	5,00	25	7,60
85	262,2	257,77	20		20		25	
90	277,4	272,93	20		20		25	
95	292,5	288,08	20		20		25	
100	307,7	303,25	20		20		25	
110	338	333,55	20		20		25	
114	349,5	345,68	20	4,15	20	10,38	25	15,77
120	368,3	363,86	20		20		25	

DISCO	PLATE-WHEEL	mm
Radio diente	Tooth radius	r3 10
Ancho curva	curve width	C 1
Ancho diente	Tooth width	B1 5,3
Ancho diente	Tooth width	b1 5,2
Ancho diente	Tooth width	B2 15,4
Ancho diente	Tooth width	B3 25,6

A partir de Z.100 ancho del disco (excepto diente) h=7mm  
 As from Z.100 plate-wheel width (except tooth) h=7mm

CADENA	CHAIN	mm
Paso	Pitch	9,525
Ancho interior	Inner width	5,72
Diámetro rodillo	Roller diámetro	6,35

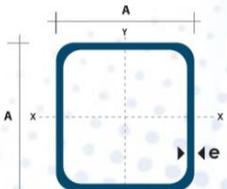
ANEXO 7

## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



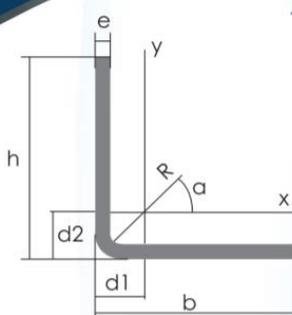
### Especificaciones Generales

**Calidad:** ASTM A-500  
**Recubrimiento:** Negro o Galvanizado  
**Largo Normal:** 6.00 m  
**Otros Largos:** Previa Consulta  
**Dimensiones:** Desde 20.00 mm a 100.00 mm  
**Espesor:** Desde 1.20 mm a 5.00 mm



Dimensiones			Área		Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>	
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77	
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74	
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72	
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97	
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95	
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92	
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18	
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15	
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13	
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25	
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56	
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54	
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52	
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97	
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94	

## PERFILES ESTRUCTURALES ANGULOS "L" DOBLADO



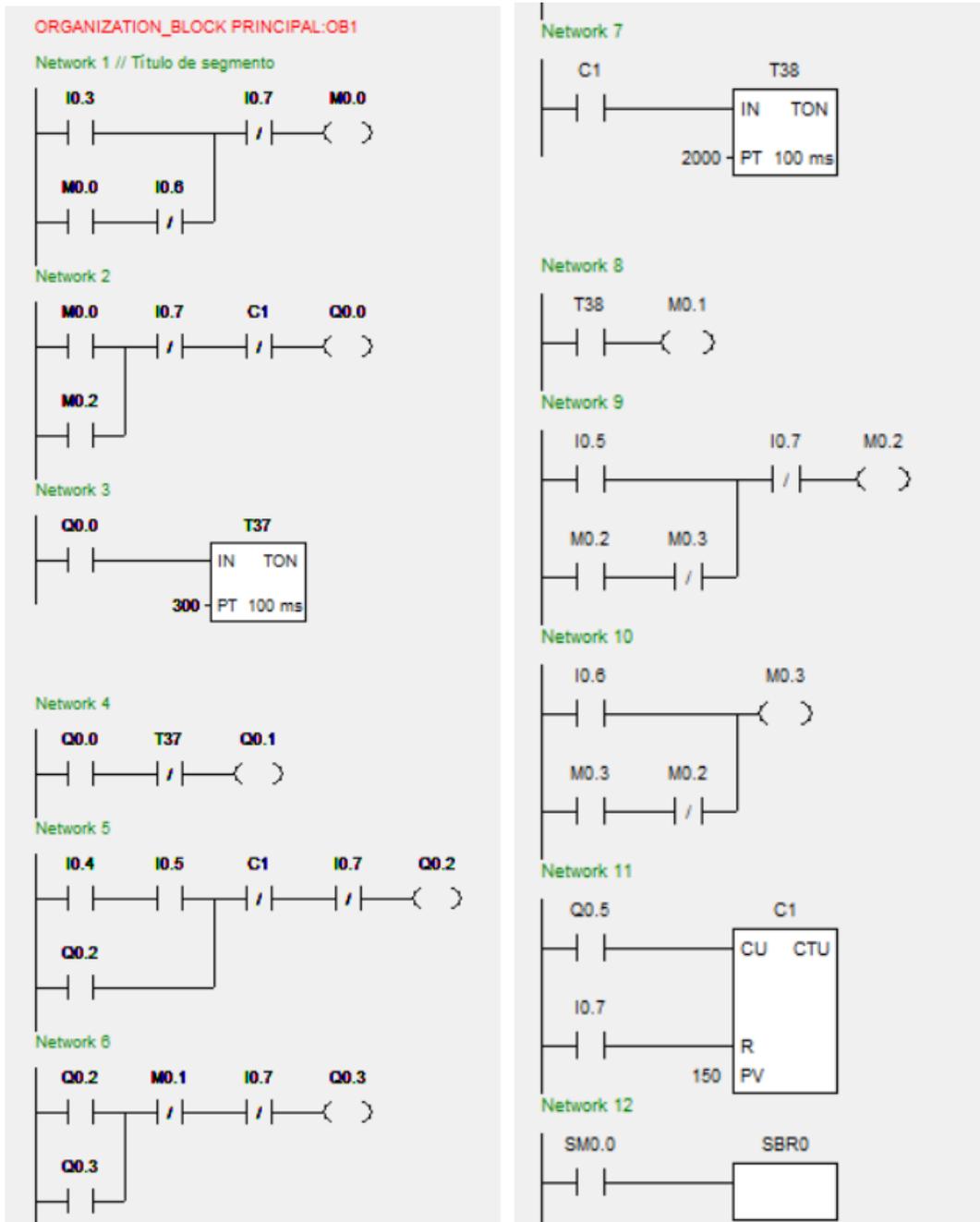
### Especificaciones Generales

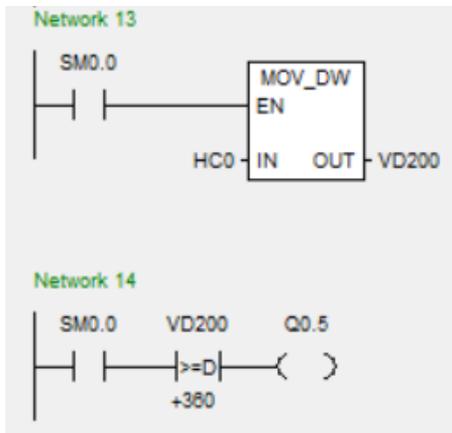
**Otras calidades:** Previa consulta  
**Largo normal:** 6,0m  
**Otros largos:** Previa consulta  
**Espesores:** Desde 1,5mm hasta 12,0mm  
**Acabado:** Natural  
**Otro acabado:** Previa consulta

Descripción	Ángulos de alas iguales																			
	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo α	Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
mm	mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm	cm	(°)	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm										
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55

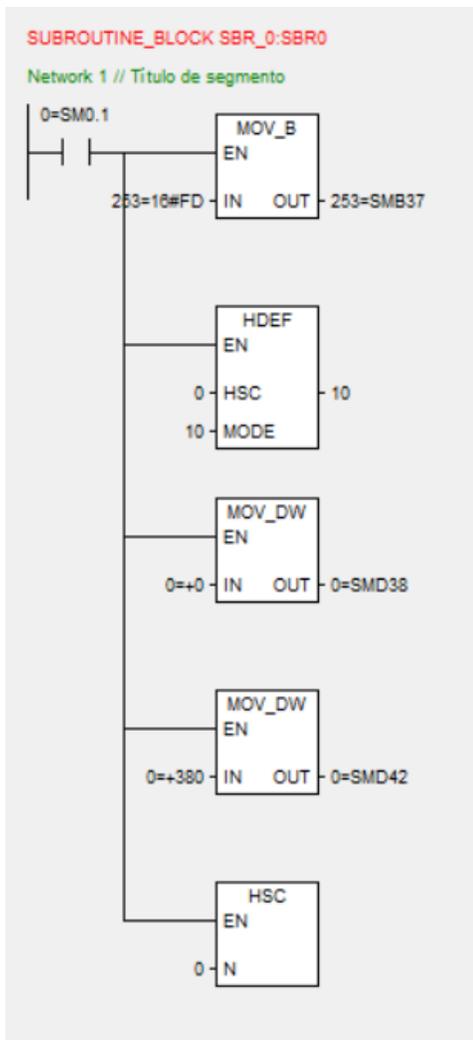
# ANEXO 8

## Programa Principal





Programa Secundario para encoder



## ANEXO 9

Tabla D-14 Bytes de marcas SMB36 a SMD62

Byte SM	Descripción
SM36.0 a SM36.4	Reservados
SM36.5	Bit de estado del sentido de contaje actual de HSC0: 1 = contar adelante
SM36.6	El valor actual de HSC0 es igual al bit de estado del valor predeterminado: 1 = igual
SM36.7	El valor actual de HSC0 es mayor que el bit de estado del valor predeterminado: 1 = mayor que
SM37.0	Bit de control para nivel de actividad de la entrada de puesta a 0: 0 = actividad alta, 1 = actividad baja
SM37.1	Reservados
SM37.2	Velocidad de contaje de los contadores A/B: 0 = velocidad cuádruple; 1 = velocidad simple
SM37.3	Bit de control del sentido de contaje de HSC0: 1 = adelante
SM37.4	Actualizar el sentido de contaje de HSC0: 1 = actualizar el sentido de contaje
SM37.5	Actualizar el valor predeterminado de HSC0: 1 = escribir nuevo valor predeterminado en HSC0
SM37.6	Actualizar el valor actual de HSC0: 1 = escribir nuevo valor actual en HSC0
SM37.7	Bit de habilitación de HSC0: 1 = habilitar

## ANEXO 10

### Fabricación de soporte principal y tolva



### Ensamblaje de motor y Brazo de apoyo



### Ensamble de Tolva



### Mecanizado de elementos para mecanismo de inyección



Corrección de fallas en pintura



Fabricación de mesa, pintura y montaje del prototipo.

