



ING. MECATRÓNICA

**Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero en Mecatrónica.**

AUTOR: Romina Abigail
Bracero Panches

TUTOR: Ing. Cristina
Giselle Oscullo Naranjo

Diseño y construcción de una mezcladora semiautomática de
turrón con una capacidad de 15 kg.

Design and construction of a semi-automatic nougat mixer with
a capacity of 15 kg.

Agradecimientos

Agradezco de manera especial a mi madre y a mi padre, quienes han sido mi guía y mi inspiración en todo momento. Su amor incondicional, su apoyo constante y su sacrificio han sido fundamentales en mi camino hacia la culminación de esta tesis. Gracias por creer en mí, por alentarme a perseguir mis sueños y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar el éxito. Su ejemplo de dedicación, esfuerzo y determinación ha dejado una huella imborrable en mi vida, y por eso les estaré eternamente agradecida.

También quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis amigos, quienes han sido un apoyo invaluable a lo largo de esta etapa de mi vida y de la realización de este trabajo. Su constante ánimo, aliento y compañía me han dado fuerza para superar los desafíos y me han brindado momentos de alegría y distracción cuando más los necesitaba. Su amistad ha sido un regalo preciado que atesoro y valoro enormemente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema	1
2.	Objetivos	1
2.1.	General	1
2.2.	Específicos	1
3.	Problema	2
4.	Hipótesis	2
5.	Estado del arte	3
5.1.	Batidoras industriales propuestas nacionalmente	3
5.2.	Batidoras industriales propuestas internacionalmente	5
5.3.	Batidoras industriales en el mercado.	7
6.	Estudio teórico del proceso de la masa del turrón	8
6.1.	Turrón duro (alicante)	9
6.2.	Turrón blando (jijón)	9
6.3.	Factores a controlar en el proceso	11
7.	Diseño conceptual	12
7.1.	Especificaciones técnicas	12
7.2.	Normas aplicadas en el diseño	13
7.3.	Estructura funcional	14
7.4.	Material	15
7.5.	Rango de velocidad angular	18
7.6.	Rango de temperatura	18
7.7.	Calidad (Cámara)	19
7.8.	Matriz morfológica por dominio.	20
7.9.	Selección de alternativas	22
7.10.	Evaluación de los conceptos de solución	24
8.	Diseño mecatrónico	26
8.1.	Criterios diseño mecánico	26
8.2.	Dimensionamiento mecánico	26

8.3.	Dimensionamiento electrónico	54
8.4.	Desarrollo de la programación	62
9.	Construcción	67
9.1.	Eléctrico Y electrónico	74
10.	Pruebas	78
10.1.	Prueba 1: Funcionalidad	78
10.2.	Prueba 2: Proceso de mezcla	78
10.3.	Consumo de energía	81
10.4.	Costo de operación	81
11.	Conclusiones	82
12.	Recomendaciones	83

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Turrón alicante.	9
2. Turrón Jijón.	10
3. Etapas del proceso de la masa de turrón.	14
4. Recipiente en bronce.	17
5. Cámara Web LogiTech	19
6. Color de la masa previo a la cocción.	19
7. Color de la masa transcurrido 45 minutos.	19
8. Color de la masa transcurrido 2 horas y 25 minutos.	20
9. Color de la masa previo a la adición de los frutos secos.	20
10. Bosquejo final.	25
11. Dimensiones Recipiente.	27
12. Análisis factor de seguridad recipiente..	31
13. Tabla Factor de Acabado Superficial	32
14. Tabla Factor de Acabado Superficial	33
15. Diagrama de cuerpo libre.	35
16. Coeficiente de arrastre.	37
17. Diagrama de fuerza.	38
18. Diagrama de momento	38
19. Eje a tensión.	39
20. Eje a torsión.	39
21. Tabla q.	40
22. Dimensiones de pernos de cabeza hexagonal y cuadrada.	43
23. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero	45
24. Valores de torque y fuerza de sujeción.	46
25. Diámetros y áreas de roscas métricas.	46
26. Factores del par de torsión K.	48
27. Distancias para prevención de falla.	49
28. Carga en los pernos	50

29. Carga en los pernos	51
30. Desplazamiento estático.	53
31. Deformación unitaria.	54
32. Factor de seguridad.	54
33. Diagrama de bloques para dimensionamiento electrónico	55
34. Resistencias planas circulares.	57
35. Variador Delta MS 300	58
36. Control de temperatura FT3419P	58
37. Raspberry Pi 3b+	59
38. Pantalla HDMI LCD	59
39. Circuito de fuerza.	60
40. Circuito de mando.	61
41. Ventana de presentación.	64
42. Ventana de Procesos	64
43. Diagrama de flujo.	64
44. Imagen capturada (color incorrecto)	65
45. Imagen capturada (color correcto)	65
46. Transformación a Imagen HSV. (Color Incorrecto).	66
47. Transformación a Imagen HSV. (Color Correcto).	66
48. Imagen filtrada (color incorrecto)	67
49. Imagen filtrada (color correcto)	67
50. Perímetros piezas de espesor 2 milímetros	68
51. Distribución piezas	68
52. Piezas a cortar	68
53. Pieza Lateral	69
54. Pieza soporte	69
55. Perímetro soporte inferior motor	70
56. Perímetro Soporte superior motor	70
57. Perímetro pieza aspas 1	70
58. Perímetro pieza aspa 2	70

59. Recipiente	71
60. Aspas	71
61. Eje	72
62. Soporte inferior motor	72
63. Soporte superior motor	73
64. Recipiente resistencia	73
65. Apoyo cámara	73
66. Circuito eléctrico	74
67. Circuito eléctrico implementado	75
68. Tablero inicial	75
69. Tablero final	76
70. Cicuito de fuerza final	76
71. Vista superior turroneira	77
72. Vista lateral turroneira	77
73. Masa quemada	79
74. Masa con grumos	80
75. Masa con el fruto seco	81

ÍNDICE DE TABLAS

1. Máquinas y proyectos de mezcladoras nacionales.	4
2. Máquinas y proyectos de mezcladoras internacionales.	6
3. Máquinas mezcladoras y batidoras en el mercado.	7
4. Proceso de realización del turrón	10
5. Normas de Alimentos	13
6. Velocidades medidas	18
8. Matriz morfológica mecánica.	20
9. Matriz morfológica control.	21
10. Matriz morfológica sensores.	21
11. Matriz morfológica actuadores.	21
12. Matriz morfológica interfaz.	21
13. Matriz morfológica alimentación.	22
14. Evaluación concepto de solución.	24
15. Dimensiones Recipiente.	29
16. Componentes Circuito de Fuerza	60
17. Componentes Circuito de Mando	61
18. Costos de ensamblaje	77
19. Receta 1	79
20. Receta 2	80
21. Receta 3	81
7. Temperaturas medidas	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo E: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular	89
Anexo E: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular	90
Anexo E: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular	91
Anexo F: Catálogo Dipac para tubo estructural cuadrado	92
.	93

MÁQUINA MEZCLADORA SEMI AUTOMÁTICA DE TURRÓN

1. Tema

Mezcladora Semiautomática de Turrón con una Capacidad de 15 kilogramos.

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar y construir una mezcladora automatizada de masa para fabricación de turrón con una capacidad de 15 kilogramos.

2.2. Específicos

- Investigar y documentar los procesos para fabricar turrones.
- Investigar las características de la materia prima y del material en proceso al final de cada fase para un asegurar la calidad del turrón.
- Determinar e implementar una red neuronal artificial para el proceso de calidad de la masa de turrón.
- Diseñar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de una mezcladora de masa de turrón con una capacidad de masa de 15 kilogramos, para automatizar el proceso de mezcla.
- Construir la mezcladora de masa de turrón semi automática.
- Implementar un HMI para que la operación de mezclado sea amigable con el usuario.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de la mezcladora automática

3. Problema

La fabricación de los dulces denominados turronec requiere de varios procesos desde el pesaje de las diferentes componentes de materia prima, mezclado para obtener la masa, horneado de la masa en capas, enfriamiento, cortes de la masa horneada, empaquetamiento, entre otros procesos [1].

En la actualidad ya existen turronec semiautomáticas las cuales en su mayoría trabajan con motor reductores de 1000 HP y variadores de velocidad para resolver los procesos principales de la creación de la masa, ya que para lograr que esta sea óptima la velocidad de mezcla debe ser variable ya que esta aumentara o disminuirá a medida que pasa el tiempo.

Por esta razón se plantea el diseño de una turronec en la cual se pueda controlar las velocidades y la temperatura con la que se mezcla, además de una IA que monitoree el color de la masa, para que al llegar a su punto la misma máquina envíe una alarma al usuario indicando que es momento de agregar los frutos secos, optimizando el proceso.

La investigación tiene como objetivo, automatizar un proceso que, en nuestro país, exceptuando industrial grandes, que pese a tener producción de turrón no es su producto principal, además de que el proceso la mayoría de veces se realiza de manera manual, lo que hace que el proceso sea largo y no muy eficiente.

Se considera que es un nicho de producción no explotado que podría emerger en el país.

4. Hipótesis

Al utilizar la máquina turronec, se logrará disminuir significativamente el tiempo de mezcla de la masa y la mano de obra necesaria en el proceso. Esto se debe a que el producto, al estar hecho a base de miel, aumenta su densidad a medida que transcurre el tiempo y

se incrementa la temperatura. El proyecto tendrá la capacidad de mezclar hasta 15 litros, aproximadamente 240 turrone. Además, mediante el control de una pantalla HMI, el usuario podrá regular la velocidad de mezclado y la temperatura. Asimismo, se podrá monitorear la calidad de la masa a través de una cámara equipada con visión artificial, permitiendo identificar el momento óptimo para detener el proceso.

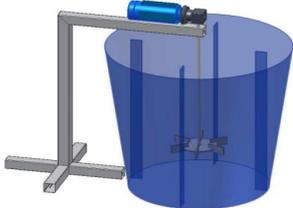
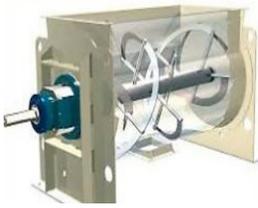
5. Estado del arte

El turrón está definido por el Reglamento Técnico Sanitario como una masa que se obtiene a través del proceso de cocción de miel y azúcar, el cual puede o no llevar clara de huevo, a la cual se le incorporara posteriormente almendras (o alguna otra variedad de frutos secos) tostadas [1].

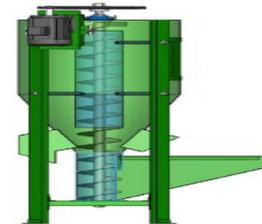
5.1. Batidoras industriales propuestas nacionalmente

Internacionalmente, la industria del turrón es mas amplia por lo cual existen diferentes empresas especializadas las cuales ofrecen mezcladoras para turrone con diferentes tipos de especificaciones, adaptándose al requerimiento del cliente, sin embargo son extremadamente costosas, sin tomar en cuenta el precio de exportación, en la Tabla 2. están empresas con sus diferentes mezcladoras y especificaciones.

Tabla 1. Máquinas y proyectos de mezcladoras nacionales.

Tipos	Imagen
<p>”Diseño y optimización de una mezcladora automática para la industria alimentaria en Ecuador.” de la Universidad Politécnica Nacional, en el proyecto se trata el diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con una capacidad de 200 litros con un solo eje de , un motor de 1 HP, 1730 rpm a 220/440 V , trifásico que trabaja a 60 Hz en el cual se buscan diferentes procesos de mezclado y agitación. [2]</p>	 <p>Diagrama de una mezcladora industrial con un tanque azul y un eje de agitación.</p>
<p>”Implementacion de una Máquina Mezcladora para Balanceado en la Micro empresa Avícola San Nicolás Ubicada en la Parroquia San Buena Aventura”. de la Universidad Técnica de Cotopaxi el proyecto trata de la implementación de una máquina mezcladora con un eje acoplado de 2 hélices helicoidales que facilitan el transporte y mezcla del material con un motor de 5 HP haciendo que el proceso mezclado dure 3 minutos logrando mezclar la cantidad de 500kg [3] .</p>	 <p>Diagrama de una máquina mezcladora con un eje acoplado de 2 hélices helicoidales.</p>

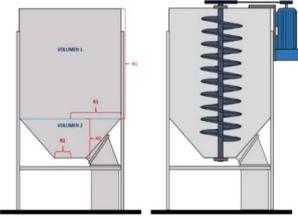
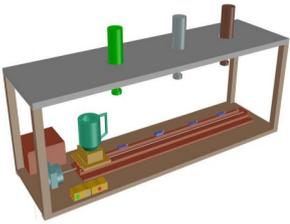
”Diseño de una máquina mezcladora de alimentos con diferentes frecuencias. Destinada al gremio de pequeños productores de animales en el recinto San Luis, del cantón Mocache”. El proyecto utiliza diferentes tipos de alimentos, además de las diferentes variaciones de frecuencia, controladas por una variador de velocidades para el proceso de mezclado, tiene una capacidad de 2000 litros en un recipiente cónico de polietileno, el sistema de mezcla es un impulsor rotatorio en un solo eje de agitación de acero inoxidable [4].



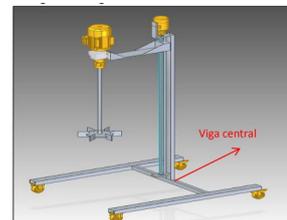
5.2. Batidoras industriales propuestas internacionalmente

Similar a las propuestas nacionales, los proyectos encontrados internacionalmente se centran en trabajos que pese a no ser enfocados en la mezcla de la masa de turrón, son mezcladoras automáticas o semi automáticas.

Tabla 2. Máquinas y proyectos de mezcladoras internacionales.

Tipos	Imagen
<p>”Diseño de mezcladora automatizada para mejorar la productividad y la calidad del producto Engorde Hermelinda en la empresa Nutriaves S.A.C.” de la Universidad Privada del Norte en Trujillo Perú. Este artículo presenta el diseño de una máquina mezcladora automatizada de 1000 kg para el proceso de producción del alimento balanceado Engorde Hermelinda en la empresa Nutriaves SAC. Se desarrolló el circuito eléctrico utilizando un PLC S7-1212 y se programó con el software CADE SIMU. Los resultados indicaron una mejora significativa en la productividad, aumentando del rendimiento de 6.19 toneladas por hora a 12.37 toneladas por hora [5].</p>	
<p>”Mezclador de bebidas semi-automático para la preparación de cócteles (Piña colada y Margarita)”. de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua desarrolla y propone un prototipo que reduzca el tiempo de preparación de los cócteles, beneficiando a los bartenders y evitando desperdicios de materia prima, en el proyecto se utiliza el controlador LOGO de Siemens, además de un motor monofásico que trabaja a 1400 rpm y 120 AC [6].</p>	

”Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa Químicos Zorel”, de la Universidad de América en Bogotá, Colombia, desarrolla un proyecto en el cual al tratarse de diferentes viscosidades, se enfoca en la correcta elección y diseño del agitador. El prototipo utiliza un motor de 1/4 HP y un moto reductor de 2 HP [7].



5.3. Batidoras industriales en el mercado.

Tabla 3. Máquinas mezcladoras y batidoras en el mercado.

Tipos	Imagen
<p>Chung Sen es una empresa Taiwanesa dedicada a la fabricación de maquinaria para la industria alimenticia, dentro de su catálogo ofrece la CS-310, turroneira que tiene recipiente de doble camisa que permite realizar calentamiento por vapor , siendo proceso más constante, además sus aspás tienen un rascador que previene que el producto se pegue al recipiente y se quemé, su capacidad de masa es de 50 lt -120 lt y trabaja con 3 HP a 220 V - 240 V, todo ensamblado en acero inoxidable [8].</p>	Imagen de una batidora industrial de acero inoxidable. La batidora tiene un recipiente de doble camisa y un eje central con un agitador. El recipiente es grande y redondo, y está soportado por una estructura de metal. El eje central tiene un motor y un reductor de velocidad. La batidora está etiquetada como "CS-310" y "Chung Sen".

<p>Longze Machinery es una empresa China dedicada a la fabricación de batidoras con variación de temperatura en la industria alimenticia, tienen una mezcladora semi automática llamada "Nougat Candy Cooker Mixer Food" la cual tiene un brazo mezclador hidráulico, que facilita la descarga del producto, se calienta por gas, el recipiente tiene un diámetro de 500 milímetros, su capacidad de producción es de 30 kg/h con un motor de 1.5 kW y 100 rpm, todo ensamblado en acero inoxidable [9].</p>	 <p>The image shows a large industrial mixer with a stainless steel bowl and a hydraulic mixing arm. To the left, there are small inset images showing a plate of golden-brown pastries and a glass of red liquid. The Longze Machinery logo is visible in the top left corner of the image area.</p>
<p>StarMix es una empresa Italiana la cual se especializa en fabricación de maquinaria para la industria panadera y pastelera, la mezcladora PL20CNNH es uno de los modelos que ofrece, la cual tiene un recipiente de capacidad de 20 litros, un variador de velocidad electrónico con un rango de 120 - 418 rpm, su motor trabaja con una potencia de 1.1 kW y sus dimensiones totales son de 728 x 564 x 1317 mm, todo ensamblado en acero inoxidable [10].</p>	 <p>The image shows two industrial mixers with orange and grey bodies and stainless steel bowls, standing on metal legs. They are positioned side-by-side.</p>

6. Estudio teórico del proceso de la masa del turrón

Existen diferentes variedades de turrón, entre las más comerciales, encontramos; turrón blando o de jijona y el turrón duro o de alicante, ambos procesos son iguales con pasos que se deben seguir rigurosamente, los cuales serán explicados a continuación.

6.1. Turrón duro (alicante)

Se calienta la miel para poder ser mezclada en el recipiente junto con el azúcar y la clara de huevo. Se agrega el fruto seco elegido para posteriormente secar al aire. Finalmente se parte en forma rectangular y se empaca.

El turrón Alicante se diferencia del Jijona por la incorporación de la clara de huevo diluida que se utiliza como blanqueador de la masa, en este tipo de turrón se debe garantizar que al menos un 10% de la masa sea miel y un 60% el fruto seco seleccionado.



Figura 1. Turrón alicante.

6.2. Turrón blando (jijón)

El proceso es similar al del turrón duro, sin embargo, una de las dos diferencias es que la clara de huevo que se agrega no es diluida y además posterior a la incorporación del fruto seco, se seleccionan las almendras, que son tostadas para realzar su sabor y luego se trituran hasta obtener una textura fina.

A continuación, se añade azúcar y miel, que actúan como agentes endulzantes y ayudan a unir los ingredientes. La mezcla se calienta suavemente hasta alcanzar una temperatura adecuada para lograr la consistencia deseada. Durante este proceso, es fundamental controlar el tiempo y la temperatura para evitar que la masa se queme o cristalice. Una vez alcanzada la consistencia deseada, la masa se vierte en moldes y se deja enfriar, lo que permite que adquiera su forma y firmeza característica.

En este trabajo la máquina a diseñar se centra en la masa para turrón duro ya que el segundo proceso requiere de molinos.



Figura 2. Turrón Jijón.

Tabla 4. Proceso de realización del turrón

Tipos	Imagen
<p>Elección de materiales Los componentes fundamentales elegidos para la elaboración de la masa incluyen miel (preferiblemente de origen natural en lugar de sintética), azúcar, clara de huevo y una cuidadosa selección de frutos secos que deben ser previamente tostados. [1].</p>	
<p>Cocción de la masa: Se procede a combinar la miel y el azúcar en un recipiente. Una vez que los ingredientes se han cocido adecuadamente y se ha logrado una masa homogénea, se incorpora la clara de huevo. Después de un período de tiempo, la masa adquirirá un tono blanquecino, señalando que es el momento apropiado para introducir los frutos secos. [1].</p>	

Laminado y cortado El proceso de laminado implica la cuidadosa y uniforme distribución de la masa sobre las obleas previamente dispuestas, teniendo en cuenta que la masa se encuentra caliente. Luego, se procede a sellar todo mediante la colocación de otra capa de obleas. Una vez que la masa ha enfriado por completo, se procede al corte en rectángulos de dimensiones iguales. [1].



En la tabla 4 se detalla el proceso en 3 partes principales, los procesos de laminado y cortado también podrían ser automatizados, sin embargo esta investigación se centra en el proceso de cocción de la masa.

6.3. Factores a controlar en el proceso

En secciones anteriores se menciona el proceso completo de la elaboración del turrón, desde la elección del material hasta el cortado del mismo, sin embargo para identificar los factores a controlar, se centra el estudio en la cocción de la masa.

Se realiza una investigación de campo y se define que los factores a controlar son 3 :

- **Temperatura** : La masa pasa por un proceso de cocción en el cual la temperatura tiene un comportamiento de campana invertida, es decir comienza con una temperatura media que va aumentando a medida que transcurre el tiempo, hasta llegar a la temperatura máxima con la que se cocina y vuelve a bajar, evitando que la masa se queme o cristalice.
- **Rapidez de mezclado** : Al igual que el factor de temperatura, la rapidez tiene un comportamiento similar, se empieza en una velocidad media, la cual va aumentando hasta su velocidad máxima para luego disminuir nuevamente, el continuo movimiento de la masa es fundamental para evitar que la masa se queme o cristalice.

- Color: El tipo de turrón que se elige para este proyecto, tiene un característico color blanco que se obtiene gracias a las claras de huevo que se utiliza, por lo cual alguna mala praxis como la cristalización de la masa o que la misma se queme, evita que tome este color, por lo cual se debe monitorear que el color blanco sea impoluto.

7. Diseño conceptual

7.1. Especificaciones técnicas

Se realiza el análisis para las especificaciones técnicas a partir de los objetivos planteados en la investigación. De esta forma se logra un diseño para un proyecto de calidad. Con la ayuda de estas especificaciones técnicas se define el diseño de la máquina para poder lograr la satisfacción de los requerimientos del cliente. Para poder delimitar estas se realiza una investigación de campo y se obtiene:

- Sistema mecánico
 1. El peso de la masa no debe pasar los 15 kilogramos.
 2. En mezcladoras para alimentos y con los datos obtenidos de la investigación de campo se considera una velocidad adecuada de 100 rpm (revoluciones por minuto) [9].
 3. El material elegido debe cumplir con características como; ser resistentes a la corrosión y temperaturas altas ya que es un proceso de cocción donde varía la temperatura entre 35 °C - 100 °C ,además de ser salubres al trabajar con alimentos.
 4. La disponibilidad y precio de los elementos en la industria local, son factores importantes al momento de elegir los mismos.
- Sistema eléctrico
 1. Conexión a red eléctrica 220 V AC.
 2. Alarmas receptoras de señales.
 3. Niquelinas.

4. Interfaz HMI.
- Sistema de control
 1. Procesador para la variación adecuada de temperatura y velocidad de mezcla.
 2. Sensor de temperatura para la variación de la misma.
 3. Variador de frecuencia para la variación de la velocidad
 4. Cámara digital para control de color.

7.2. Normas aplicadas en el diseño

En la Tabla 5 se presentan las normas aplicadas al área alimenticia y su respectiva descripción, las cuales se deben conocer para poder realizar la turrонера sin ningún impedimento.

Tabla 5. Normas de Alimentos

Norma	Descripción
FDA CFR Title 21 Parts 170-179 Food Additives	Componentes que pueden encontrarse en contacto directo con un alimento [11].
NTE INEN 3039	Servicios de restauración. Buenas prácticas de manufactura [12].
CPE INEN 01:1987	Código de práctica para manipulación de alimentos [13].
RTE INEN 131	Seguridad e higiene de maquinaria para procesamiento de alimentos [14].
INEN-EN 1672-1	Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 1: Requisitos de seguridad [15].
INEN-EN 1672-2	Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene [15].

Norma	Descripción
IEC 60529	Grados de protección IP en los equipos e instalaciones [16].
ISO 12100:2012	Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo [17].

En base a estas normas se realiza la selección de materiales para el diseño de la máquina semi automática para la realización de la masa de turrón.

7.3. Estructura funcional

La maquina turrонера trabaja con cuatro etapas importantes que se pueden observar en la figura 3.

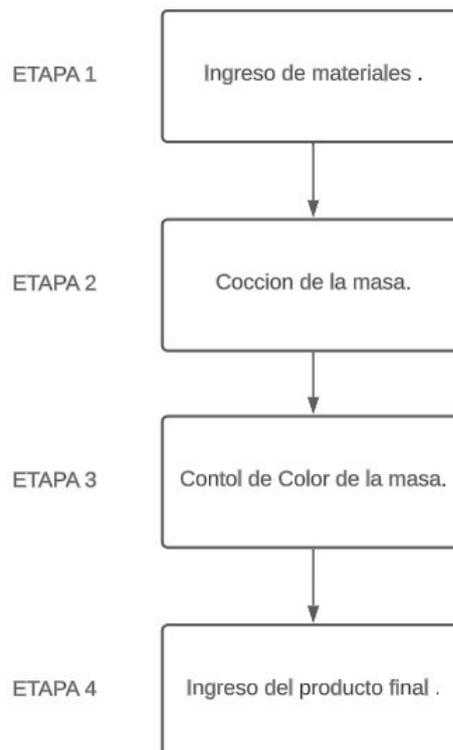


Figura 3. Etapas del proceso de la masa de turrón.

- Etapa 1 (Ingreso de materiales): Se ingresa la miel, azúcar y claras de huevo al recipiente de la turrонера.

- Etapa 2 (Cocción de la masa): Los materiales son batidos y calentados con variaciones en los parámetros de temperatura y rapidez de mezcla.
- Etapa 3 (Control de color de la masa): Una vez finalizada la etapa 2, la máquina se detiene y se procede a tomar una imagen del color actual de la masa, si está cocinada de manera correcta se envía una señal que enciende una luz led verde, caso contrario suena una alarma indicando que la masa no es óptima.
- Etapa 4 (Ingreso del producto final): Cuando se obtiene la aprobación de la correcta cocción de la masa, la turroneira entra a modo manual, en el cual se mantiene parada hasta que el usuario haya depositado el maní en la mezcla y este fuera de peligro e ingrese un tiempo a batir con una velocidad y temperatura especificada para la correcta unión del maní.

7.4. Material

Al tratarse de alimentos se considera los materiales utilizables para su función, el recipiente utilizado es de bronce con un espesor de 2 mm, otro material utilizado generalmente en la industria alimenticia es el acero inoxidable.

Se consideran solo 2 materiales pese a que por normas sanitarias elementos como, la madera, la cerámica y el vidrio también son aptos para utilizar, se hace esto debido a propiedades específicas que se necesitan en la fabricación de la turroneira, las cuales son:

- Conductividad térmica.
- Resistencia a la corrosión.
- Mantenimiento del material
- Precio del material.

El primer parámetro que se toma en cuenta es la conductividad térmica, al tratarse de una masa la cual se debe calentar hasta los 100 grados el material que se elija debe poseer esta propiedad. El bronce posee una conductividad térmica de 400 W/m·K mientras que la

del acero Inoxidable es de 15 W/m·K.

La corrosión es un factor muy importante ya que al tratarse de comida no se puede presentar ningún tipo de oxidación que pueda llegar a dañar la masa. El bronce es una aleación principalmente compuesta de cobre y estaño, aunque puede contener otros elementos en pequeñas cantidades. Esta combinación química le proporciona una buena resistencia a la corrosión.

Se toma como factor la facilidad de mantenimiento del material. La superficie lisa y no porosa del acero inoxidable no tiende a retener suciedad o manchas fácilmente, y es bastante resistente a la decoloración. Puede limpiarse con agua y jabón o detergentes suaves, y su apariencia original se mantiene durante mucho tiempo. Sin embargo, en aplicaciones donde el acero inoxidable está sujeto a raspaduras o abrasiones, estas marcas pueden ser más difíciles de eliminar, por otro lado para mantener el bronce en su estado original, es necesario limpiarlo regularmente con un limpiador específico para metales y aplicar un sellador para evitar la formación de pátina.

Finalmente se tiene el factor precio que en este caso sera el más importante, ya que la turroneira se realiza en su totalidad con el material elegido, por lo que el costo del mismo juega un papel fundamental.

Una plancha de 120 x 240 mm de 3 milímetros de espesor tiene un precio de 162 dolares, mientras que una plancha de bronce de 312 x 22 mm de 2 milímetros de espesor se esta cotizando a un precio de 2948.65 dolares, un precio muy elevado en comparación al acero inoxidable.

Teniendo en cuenta todo esto se decide realizar la turroneira con acero inoxidable, la resistencia a la corrosión de este material es una característica que resulta esencial en aplicaciones expuestas a ambientes corrosivos, garantizando la durabilidad y longevidad del equipo. Aunque el bronce también muestra una buena resistencia a la corrosión, el ace-

ro inoxidable supera este aspecto en términos de resistencia a largo plazo. Además, la conductividad térmica del acero inoxidable, aunque ligeramente inferior a la del bronce, es adecuada para las necesidades de transferencia de calor de nuestro proyecto. Finalmente, el factor precio se convierte en un elemento determinante, ya que el acero inoxidable tiende a ser más asequible en comparación con el bronce.

La empresa con la que se realiza el proyecto, trabaja con 3 tipos de acero inoxidable, AISI 304, AISI 316, y AISI 430:

1. Austenítico (serie 300):

- AISI 304 (18-8): Resistente a la corrosión, ampliamente utilizado en aplicaciones de uso general, como utensilios de cocina y equipos médicos.
- AISI 316: Tiene un mayor contenido de cromo y níquel, lo que le proporciona una mayor resistencia a la corrosión en ambientes marinos. Se utiliza en aplicaciones marinas y químicas.

2. Ferrítico (serie 400):

- AISI 430: No es tan resistente a la corrosión como los austeníticos, pero es duradero y se utiliza comúnmente en aplicaciones como utensilios domésticos y carrocerías de automóviles.

El acero inoxidable seleccionado es el 304 el cual posee características especificadas en el Anexo A.



Figura 4. Recipiente en bronce.

7.5. Rango de velocidad angular

Para el rango de velocidad angular se busca proyectos o productos que trabajen de manera similar, se supone una velocidad de 1000 rpm [9]. Sin embargo la empresa solicita utilizar un motor reciclado de trabajos anteriores, el cual los datos de placa indican que tiene una potencia de 0.5 HP y 1800 rpm.

Se realiza una investigación de campo en la cual se tomo el tiempo de vueltas que se dan en un minuto con la ayuda de un tacómetro digital Fluke 931. Se obtuvo los datos de la tabla 6.

Tabla 6. Velocidades medidas

Número de Prueba	Número de RPM
1	115
2	135
3	165
4	155

Obteniendo un promedio de 142.5 rpm. Un moto-reductor que funciona a 1800 rpm es una opción viable para no forzar el motor y evitar fallas, tomando en cuenta que se está tomando un promedio y que la velocidad máxima medida es de 165 rpm.

7.6. Rango de temperatura

Para el rango de temperatura se toma medidas con la ayuda del medidor de temperatura fluke 62 max y se toma cada 15 minutos y se en 3 puntos diferentes; la hornilla, la paila (recipiente) y la masa.

Como se puede ver en la Tabla 7. , la temperatura máxima que se llega en la hornilla es de 206, en la paila de 91 y en la masa de 53 grados centígrados. Dependiendo que método de calentamiento se elije, la temperatura a la que se debe llegar va a ser diferente, los métodos para calentar propuestos son ; por gas, por vapor o de manera eléctrica.

7.7. Calidad (Cámara)

Se trabaja en un ambiente con gran cantidad de luz, lo que no representa un problema por lo cual la Cámara Web LogiTech C270 HD de 30 FPS la cual se conecta a cualquier Raspberry Pi o Compute Module para crear fotografías y vídeo HD, con un enfoque fijo de 0.9 Mpx ofrece una buena definición de imagen con la que se podrá tratar los datos de mejor manera.



Figura 5. Cámara Web LogiTech

Adicional a esto se adjunta en las figuras 6 a 9 como va cambiando de color la masa hasta llegar a un al tono final que es completamente blanco.



Figura 6. Color de la masa previo a la cocción.



Figura 7. Color de la masa transcurrido 45 minutos.



Figura 8. Color de la masa transcurrido 2 horas y 25 minutos.



Figura 9. Color de la masa previo a la adición de los frutos secos.

7.8. Matriz morfológica por dominio.

Una vez que se ha diseñado la estructura funcional de la máquina, se lleva a cabo la creación de una matriz morfológica. En esta matriz se muestran las diferentes opciones de componentes para el sistema con el objetivo de determinar la mejor combinación para resolver el problema.

La matriz se enfoca en 6 partes : Mecánica, Control, Sensores, Actuadores, Interfaz, Alimentación.

1. Mecánica: En la tabla 8 se resumen ambas alternativas que permiten cumplir con las funciones mecánicas.

Tabla 8. Matriz morfológica mecánica.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Recipiente	Diámetro mayor a la altura	Altura mayor al diámetro
Aspas	Aspas rectas planas	Aspas planas tubulares cruzadas
Estructura	Vertical 1 solo apoyo	4 apoyos

2. Control: En la tabla 9 se resumen las alternativas de tipos de microprocesadores para el control de la mezcladora.

Tabla 9. Matriz morfológica control.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Control actuador, sensor de temperatura y variador	Arduino	Raspberry Pi
Velocidad	Variador de velocidad	Control de polos
Temperatura	Controlador de temperatura	PLC

3. Sensores: En la tabla 10 se resumen las alternativas de tipos de sensores para el control de la mezcladora.

Tabla 10. Matriz morfológica sensores.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Temperatura	Termopar tipo J	PT100

4. Actuadores: En la tabla 11 se resumen las alternativas de tipos de actuadores para el control de la mezcladora.

Tabla 11. Matriz morfológica actuadores.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Mezclado	Manual	Motor-reductor

5. Interfaz: En la tabla 12 se resumen las alternativas de interfaz para el usuario.

z

Tabla 12. Matriz morfológica interfaz.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
ON/OFF proceso	Pantalla	Interruptores
Variación de datos	Potenciómetro	Pantalla
Visualización datos	Pantalla	Alarmas, luces leds

6. Alimentación: En la tabla 13 se resumen las alternativas para la alimentación del circuito.

Tabla 13. Matriz morfológica alimentación.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Acondicionamiento de Energía.	Fuente de poder con valor de salida único.	Baterías

7.9. Selección de alternativas

Se procede a combinar de manera adecuada las alternativas propuestas para dar solución a los requisitos establecidos para la máquina. Esto asegura que se cumplan todas las etapas del proceso de manera satisfactoria.

1. Alternativa 1.

- En esta alternativa, el recipiente tiene una altura mayor al diámetro, para contener todos los materiales que se utilizan antes y durante el proceso de cocción, debido a que al empezar este, la mezcla aumenta de tamaño, también se debe tener en cuenta que la forma de la estructura y el recipiente debe ser de fácil acceso para el usuario.

Para inicializar el prototipo se utiliza interruptores ON/OFF, al momento de ingresar los datos la pantalla elegida se muestra una programa donde se elige, tiempo, rapidez y temperatura de batido o en su defecto, las recetas, finalmente para las alarmas se utilizan luces leds que alerten al usuario.

- Cocción de la masa: Como se encontró en secciones anteriores la masa tiene una ligera variación de temperatura que llega hasta los 55 °C y una de velocidad angular la cual alcanza las 165 rpm, por lo cual se considera una termopar tipo J y un variador de velocidad respectivamente, para el tipo de espas, al tratarse de una masa viscosa y pesada las planas tubulares cruzadas, disminuyen la

cantidad de mezcla que se debe retirar de las mismas, además de ser las adecuadas para este tipo de masas, la aspa están soldada con TIG a un eje el cual se une con un matrimonio al eje del moto-reductor, finalmente para la estructura se decide usar 4 apoyos, replicando los prototipos observados en la sección 5.2.

- Control de color de la masa: Se utiliza el modelo Raspberry Pi 3 B+, teniendo presente que para la interfaz, al trabajar con este controlador se tiene mas opciones de pantallas, además la cámara seleccionada en la sección 7.7 es compatible con este controlador, en el momento que se culmina el proceso de mezcla, se detiene el motor, la temperatura regresa a la inicial y se detiene, toma una una imagen del color de la masa.
- Ingreso del producto final: Si el color es incorrecto se activa una alarma que indica que el producto no es el adecuado.

2. Alternativa 2.

- En este concepto, el recipiente debe tener un diámetro mayor a su altura ,para contener en su totalidad los materiales que se van a utilizar antes de que empiece el proceso, además de poder contener la masa que crece, también se debe tener en cuenta que la forma de la estructura y el recipiente debe ser de fácil acceso para el usuario.

Para inicializar el prototipo se utiliza una pantalla táctil, mediante la cual también se podrá ingresar los datos de tiempo, velocidad y temperatura de la mezcla, finalmente para las alarmas una pantalla de alarma emerge de la pantalla de ingreso de datos.

- Cocción de la masa: Como se encontró en secciones anteriores la masa tiene una ligera variación de temperatura que llega hasta los 55 °C y una de velocidad la cual alcanza las 165 rpm , por lo cual se considera una PT100 y control de polos respectivamente, para el tipo de aspas , se utilizan aspas planas y rectangulares del largo del diámetro del recipiente, la aspa esta soldada con TIG a un eje el cual se uno con un matrimonio al eje del moto-reductor, finalmente para la estructura

se usa una estructura vertical replicando la de la sección 5.5.

- Control de color de la masa: Se utiliza Arduino Mega, en el momento que se culmina el proceso de mezcla, se detiene el motor, la temperatura regresa a la inicial y se detiene, toma una una imagen del color de la masa.
- Ingreso del producto final: Si el color es incorrecto se activa una alarma en la pantalla indicando que la masa no esta realizada de maneras correcta.

7.10. Evaluación de los conceptos de solución

La evaluación técnica de los distintos conceptos de solución para la máquina a fabricar se presenta en la Tabla 15. Esta evaluación se realiza considerando criterios globales, con el objetivo de comparar y analizar las diferentes opciones.

Tabla 14. Evaluación concepto de solución.

Concepto de solución		Solucion 1			Solucion 2		Solucion Ideal	
Numero	Criterios de Evaluación	g	g	gp	g	gp	g	gP
1	Funcion Principal	4	4	16	4	16	4	16
2	Forma	2	2	4	1	2	4	8
3	Seguridad	4	3	12	3	12	4	16
4	Ergonomía	3	2	6	3	9	4	12
5	Fabricación	3	3	9	2	6	4	12
6	Electrónica Y Control	3	3	9	1	3	4	12
7	Costo	4	4	16	1	4	4	16
PUNTAJE MAXIMO			21	72	15	42	28	92

Donde:

p ; Puntaje 0-4

0 ; No satisface

1 ; Aceptable

2 ; Suficiente

3 ; Bien

4 ; Muy bien

g ; La variable g representa el peso ponderado, el cual se determina en base a la importancia relativa de los criterios de evaluación. Su valor está asociado a la relevancia asignada a cada criterio en el proceso de evaluación.

Después de realizar un análisis exhaustivo, se concluye que la solución 1 es la más idónea para cumplir con los requerimientos establecidos.

Esta solución presenta un diseño sencillo que requiere intervención del usuario para el ingreso de datos y combina de manera efectiva los diferentes procesos propuestos previamente.

En la figura 10 se observa un bosquejo 3D de las elección tomada.

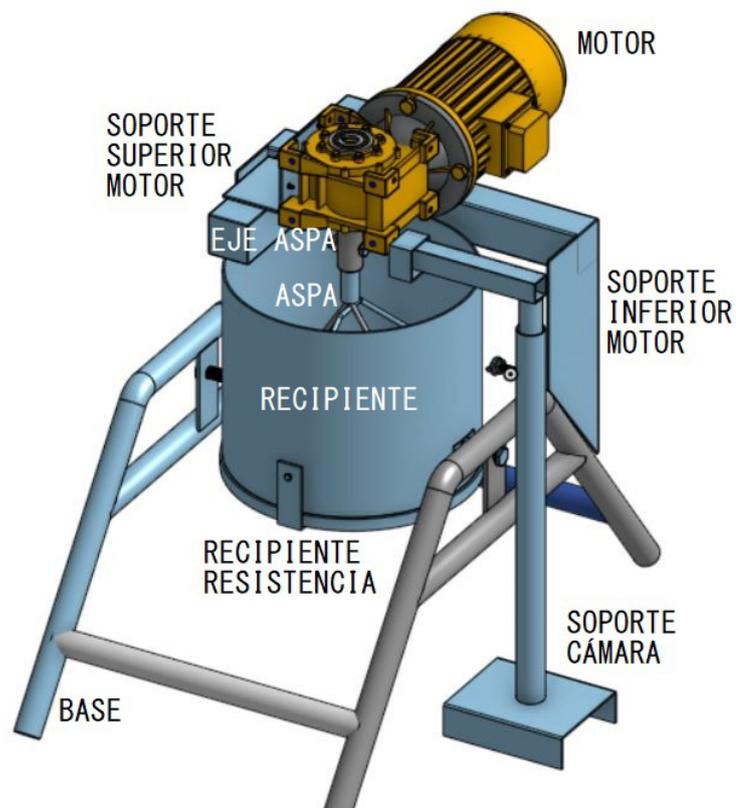


Figura 10. Bosquejo final.

8. Diseño mecatrónico

8.1. Criterios diseño mecánico

1. Elementos a dimensionar: Se selecciona los elementos que están bajo varias cargas o que son piezas importantes para el correcto funcionamiento de la turroneira. Los acabados no se consideran ya que estos no cambian la ejecución del prototipo.
2. Factor de diseño: El material principal de la turroneira es el acero inoxidable, material que esta bajo cargas dinámicas, además de ser un material dúctil, por lo cual se trabaja con un factor de diseño (N_d) como medida de seguridad [18] , que aplicando los parámetros de Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas y trabajando con una confianza promedio el factor es:

$$N_d = 2,5$$

8.2. Dimensionamiento mecánico

Los componentes mecánicos que deben ser dimensionados en función de la ingeniería conceptual son :

1. Recipiente para la mezcla y cocción de la masa. Se realiza un bosquejo de las medidas a dimensionar que se puede observar en la figura 13 . El espesor que se utiliza en los componentes mecánicos es de 3 milímetros, debido a la disponibilidad y costo del mismo.

Para determinar las dimensiones del recipiente que se diseña en forma cilíndrica, se calcula el volumen total de los ingredientes antes del proceso cocción para lo cual se dispone de las cantidades según una receta y conociendo la densidad de cada ingrediente.

Se utiliza la formula:

$$Volumen_{total} = Volumen_{clara-24} + Volumen_{miel} + Volumen_{azcar} + Volumen_{mani}$$

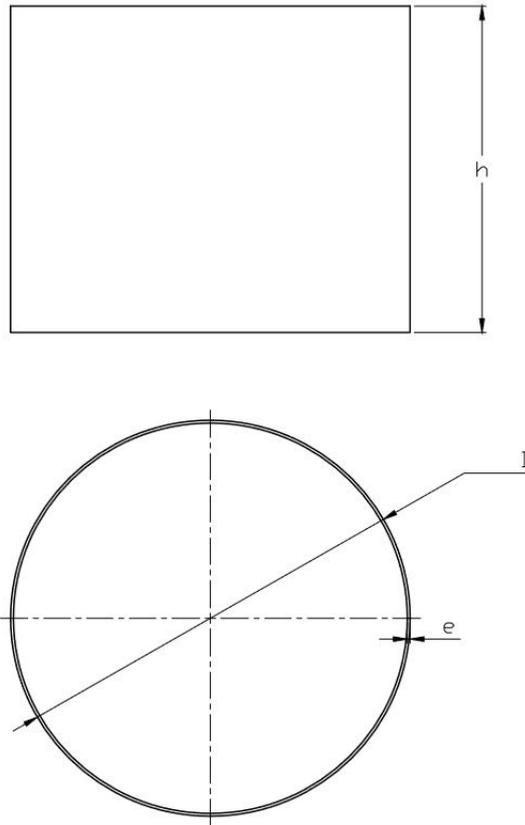


Figura 11. Dimensiones Recipiente.

Según los requerimientos del cliente, se busca que el recipiente tenga una capacidad de carga de 15 kilogramos aproximadamente, en la investigación de campo realizada se obtuvo la masa necesaria para realizar 240 turrone, para la cual se utiliza:

- 24 claras de huevo.
- 2 libras de miel de abeja.
- 12 libras de frutos secos.
- 2 libras de azúcar.

El volumen de la clara de huevo es [19]:

$$Volumen_{clara} = 30,74 \text{ cm}^3$$

Una vez obtenido el volumen de la clara, se multiplica por el numero de estas utilizado, que es 24.

$$Volumen_{clara-24} = (30,74 * 24) \text{ cm}^3$$

$$Volumen_{clara-24} = 737,76 \text{ cm}^3$$

Considerando las siguientes densidades:

$$miel = 1,41 \text{ g/ml}$$

$$azucar = 1,59 \text{ g/cm}^3$$

$$mani = 610 \text{ kg/m}^3$$

Trabajamos en g/cm^3 para calcular el volumen, sabiendo que ml es equivalente a cm^3 las unidades de la miel y la azúcar se mantienen pero la del maní debe ser transformada, la cual equivale a $0,610 \text{ g/cm}^3$

La masa de cada elemento es la especificada al inicio de esta sección.

$$masa_{miel} = 2 \text{ lb} = 908 \text{ g}$$

$$masa_{azucar} = 2 \text{ lb} = 908 \text{ g}$$

$$masa_{mani} = 12 \text{ lb} = 5443,11 \text{ g}$$

Conociendo la ecuación de la densidad .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde

ρ densidad, en g/cm^3 ;

m masa, en g;

V volumen, en cm^3 .

Despejando y reemplazando en (1) se obtiene:

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

$$Volumen_{miel} = 908/1,41$$

$$Volumen_{miel} = 643,972\text{cm}^3$$

$$Volumen_{azcar} = 908/1,59$$

$$Volumen_{azcar} = 571,069 \text{ cm}^3$$

$$Volumen_{mani} = 5443,11/0,610$$

$$Volumen_{mani} = 8923,13 \text{ cm}^3$$

Una vez calculado el volumen individual de cada uno de los ingredientes se suman todos para calcular el volumen total de los ingredientes sin cocción:

$$Volumen_{total} = Volumen_{clara-24} + Volumen_{miel} + Volumen_{azcar} + Volumen_{mani}$$

$$Volumen_{total} = 737,76 + 643,972 + 571,069 + 8923,13$$

$$Volumen_{total} = 10875,9 \text{ cm}^3$$

$$Volumen_{total} = 10,88 \text{ lt}$$

Para el cálculo de las dimensiones del recipiente se toma en cuenta que el volumen calculado de 10.88 l es solo de los materiales sin cocción, por lo cual se toma como medida preventiva el aumentar a 15 l el volumen para los cálculos de las medidas.

Por fines de diseño se selecciona un volumen de 15 l considerando espacio para la cocción de la masa. Para dimensionar el recipiente, se asume que el recipiente es cilíndrico y con un diámetro de 28.5 cm. Por lo tanto la altura h del recipiente es:

$$Volumen = (\pi * r^2) * h$$

$$15000 \text{ cm}^3 = (\pi * (14,25)^2) * h$$

$$h = \frac{15000 \text{ cm}^3}{660,52 \text{ cm}^2}$$

$$h = 23,51 \text{ cm}$$

A continuación se presenta en la tabla 16 las dimensiones finales.

Tabla 15. Dimensiones Recipiente.

DIMENSIÓN	VALOR (mm)
e	3
D	285
h	235

De acuerdo a la ingeniería conceptual se diseña el recipiente con acero inoxidable y se selecciona el acero AISI 304 que tiene buena resistencia a la corrosión y ofrece suficiente protección contra el impacto físico y es ampliamente usado en la industria alimenticia.

Al tratarse de un recipiente para fines de cálculo se asume que es una tubería y para calcular la presión interna a la que está sometida la pared se utiliza las fórmulas de Barlow.

$$P = 2St/[(Do - 2t)SF] \quad (2)$$

Donde:

P = presión máxima de trabajo

S = resistencia del material

t = espesor de la pared

Do = diámetro exterior

SF = factor de seguridad

Para el acero inoxidable, el factor de seguridad típico es de 3 [20].

Para la maquina se tiene:

S = 235 MPa

t = 3 mm (se asume este espesor considerando que el recipiente debe ser rígido)

D = 285 mm

SF = 3

$$P = (2(235)(3))/(285 - 2(3))(3)$$

$$P = 1,68MPa$$

Con estos valores se obtiene que la pared del recipiente puede soportar una presión de 1.68 MPa. El recipiente es abierto a la atmósfera (0.101 MPa), por lo tanto, el espesor asumido es adecuado. Para garantizar una buena soldabilidad, se ha seleccionado una plancha de acero AISI 304 con un espesor de 3 mm. La fabricación del recipiente se realiza mediante un proceso de barolado y la base se soldó con TIG. Se ha llevado a cabo un análisis estático utilizando el software SOLIDWORKS, considerando los siguientes datos.

- Los laterales recipiente es una sujeción fija además de tener un seguro para la movilidad del recipiente.
- Se considera la presión que se genera dentro del recipiente, sabiendo que no es un recipiente cerrado.

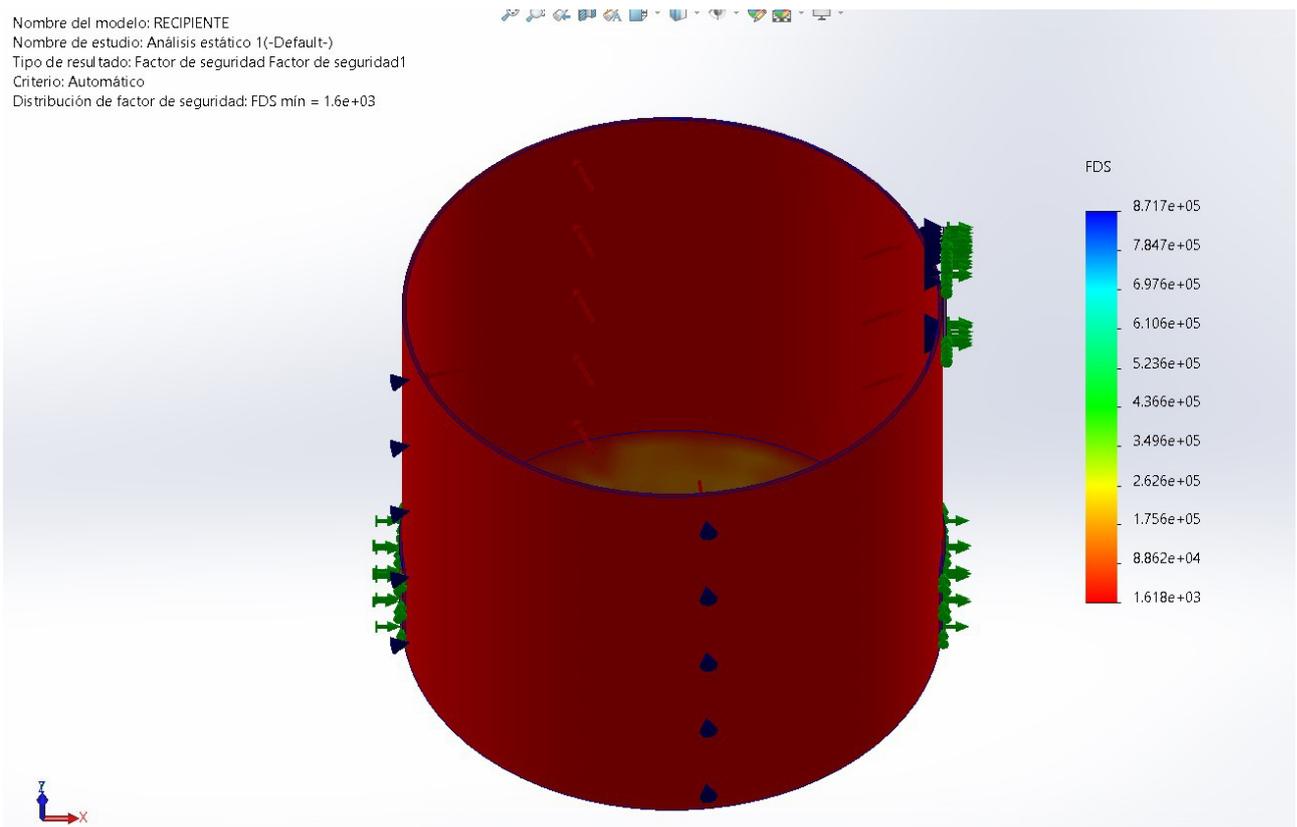


Figura 12. Análisis factor de seguridad recipiente..

2. Eje aspas turroneira: Se busca el diámetro del eje del prototipo, sabiendo los datos del motor.

Una vez elegido el material, se calcula la resistencia a la fluencia con la ayuda de (39)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f * S'_e \quad (3)$$

Donde:

$$S_e = 0,5 * S_{ut} \rightarrow S_{ut} \leq 1400MPa \quad (4)$$

Factores modificadores:

k_a → Factor de acabado superficial

k_b → Factor de tamaño

k_c → Factor de carga

k_d → Factor de temperatura

k_e → Factor de confiabilidad

k_f → Factor de efectos varios

- Factor de acabado superficial

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 13. Tabla Factor de Acabado Superficial

El eje de transmisión de la turroneira se lo considera laminado en frío, asumiendo que el mismo no va a superar un diámetro de 2 1/2 " y al tratarse de acero se considera una resistencia ultima mínima (S_{ut}) de 520 MPa [20].

$$k_a = 4,51(520)^{(-0,265)}$$

$$k_a = 0,859$$

- Factor de tamaño : Se desconoce el tamaño del eje pero como ya se menciona antes no debe superar las 2 1/2" por lo cual se considera un $k_b = 0,89$.
- Factor de carga: Este parámetro no se considera ya que posteriormente se realizaran con esfuerzos de Von Mises
- Factor de temperatura: Al tratarse de un prototipo para la cocción de masa de turrón se debe llegar a temperaturas de hasta 60°C en la masa y 91°C en el recipiente, por lo cual se considera 100°C (212 °F).

$$k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4$$

$$k_d =$$

$$0,975 + 0,432(10^{-3})(100) - 0,115(10^{-5})(100)^2 + 0,104(10^{-8})(100)^3 - 0,595(10^{-12})(100)^4$$

$$k_d = 1,024$$

- Factor de confiabilidad:

Se considera una confiabilidad de 95 % y tomando los datos de la figura 12

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 14. Tabla Factor de Acabado Superficial

$$k_e = 0,868$$

- Factor de efectos varios: Se toma en cuenta la reducción del limite de resistencia a la fatiga debido a todos los otros efectos, por lo cual se asume

$$k_f = 1$$

Con todos los factores obtenidos se calcula la resistencia a la fluencia para el eje:

$$Se' = 0,5 * Sut$$

$$Se' = (0,5)(520)$$

$$Se' = 260MPa$$

$$Se = (0,859)(0,89)(1,024)(0,868)(1)(260)$$

$$Se = 176,675MPa$$

Datos Motor:

$$P = 0,5 \text{ HP}$$

$$w = 70 - 10 \text{ Hz}$$

$$= 2100 - 3300 \text{ rpm}$$

$$= 230,38 - 345,49 \text{ rad/s}$$

Donde :

P = potencia

w = velocidad angular

Sabiendo que la fórmula de torque es:

$$T = Pw \quad (5)$$

Se reemplaza la velocidad mínima y máxima con la que trabaja el prototipo.

$$T_1 = \frac{372,85 \text{ W}}{230,38 \text{ rad/s}} \quad T_2 = \frac{372,85 \text{ W}}{345,49 \text{ rad/s}}$$

$$T_1 = 1,62 \text{ N.m} \quad T_2 = 1,08 \text{ N.m}$$

Con los datos obtenidos, se trabaja con $T_1 = T$ ya que es el torque máximo que da el motor con los datos especificados.

Además del torque proporcionado por el motor, el eje tiene una fuerza de arrastre perpendicular al eje Y (eje del eje) producida por la masa. Se realiza el diagrama de cuerpo

libre.

D.C.L

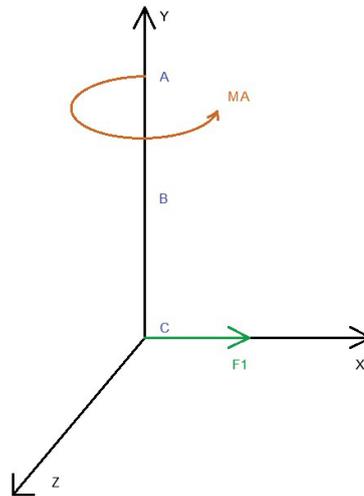


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre.

Sabiendo que el eje a analizar cuenta con :

$$D = 27,5 \text{ mm}$$

$$L = 58 \text{ mm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$l = 120 \text{ mm}$$

Las distancias a los puntos son:

$$AB = 58 \text{ mm}$$

$$BC = 60 \text{ mm}$$

El eje se fabrica en AISI 304 y la mezcla, al tratarse de un material viscoso como lo es la miel se proporciona datos necesarios para el análisis de fuerzas y momentos:

$$S_{ut} = 520 \text{ MPa}$$

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

$$S_e = 176,68 \text{ MPa}$$

$$\rho = 1,41 \text{ kg/m}^3 \text{ Densidad de la miel}$$

$$\nu = 20 \text{ Ns/m}^2 \text{ Viscosidad de la miel}$$

Se realiza análisis de fuerzas en el eje X, sin embargo solo se cuenta con la fuerza de arrastre, la cual crea una fuerza de rozamiento F_u en sentido contrario a F_1 , en oposición al movimiento.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_u + F_1 = 0$$

$$F_1 = -F_u$$

Para obtener F_u , utilizamos la fórmula :

$$F_u = \frac{1}{2} C_D A \rho v^2 \text{ (6)}$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre.

A = Área que recorre.

ρ = Densidad del material.

v = Velocidad en m/s

Para obtener C_d utilizamos la tabla de la figura, con el numero de Reynolds y sabiendo que se trabaja con un cilindro liso.

Para obtener el numero de Reynolds, se utiliza la fórmula:

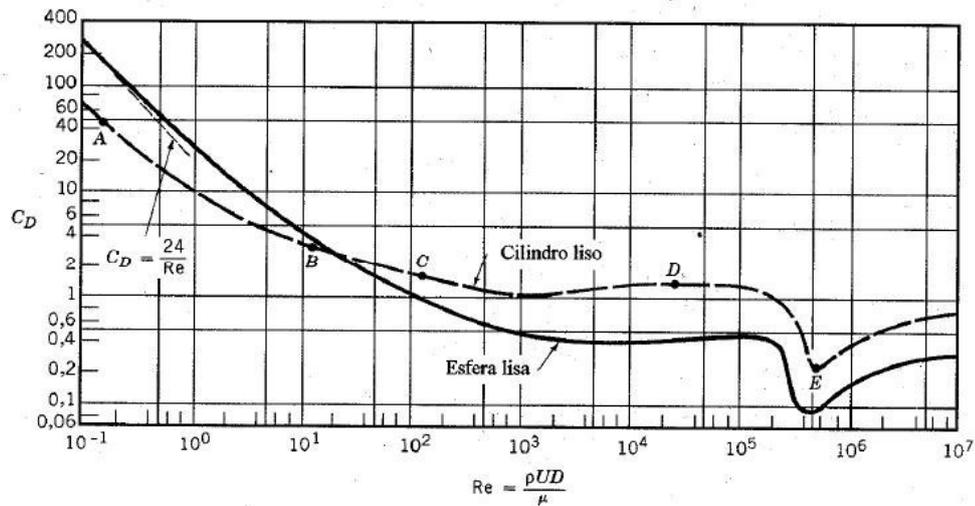


Figura 16. Coeficiente de arrastre.

$$Re = \frac{(\rho)(v)(D_p)}{\nu}$$

Donde:

ρ = Densidad de la miel.

D_p = Diámetro del recipiente.

ν = Viscosidad de la miel.

Reemplazo:

$$Re = \frac{(1,41)(0,285)(49,23)}{20}$$

$$Re = 0,989$$

El número de Reynolds es adimensional, se elige un C_d de 8.

Finalmente, el último dato a encontrar para calcular la fuerza, es el área que recorre, se toma la mitad del diámetro total y la mitad de la altura del recipiente, por lo tanto:

$$A = (0,14)(0,12)$$

$$A = 0,017m^2$$

Reemplazo todos los datos obtenidos en la ecuación (6)

$$F_1 = \frac{1}{2}(8) (0,017) m^2 (1,41) kg/m^3 (49,23)^2 m/s^2$$

$$F_1 = 232,37 N$$

Con la fuerza F_1 realizamos los diagramas de fuerza y momento .



Figura 17. Diagrama de fuerza.

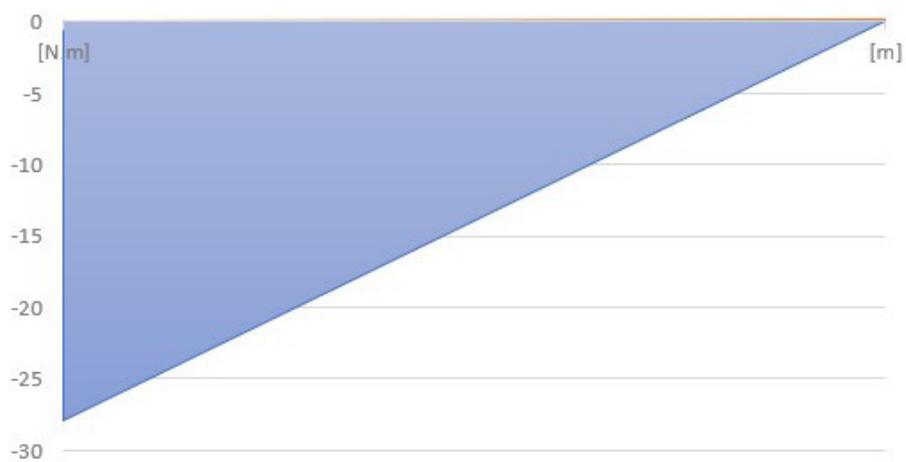


Figura 18. Diagrama de momento

Se calcula el momento torsor T_m , con d igual a la mitad del diámetro total del recipiente.

$$T_m = F d$$

$$T_m = (232,37) N(0,0137) m$$

$$T_m = 3,2 N.m$$

Finalmente se calcula el momento flector M_a .

$$M_a = (3,2) (0,12)$$

$$M_a = 27,88 \text{ N.m}$$

Para una primera aproximación se asume $M_m = T_a = 0$, un factor de seguridad de 2.5. Además se tiene el diámetro final del eje menor , el cual es de 20 mm, se asume un $r = 2$ mm. Con ayuda de las tablas de las figuras 19 y 20, obtenemos $K_t = 1,38$ y $K_{ts} = 1,2$

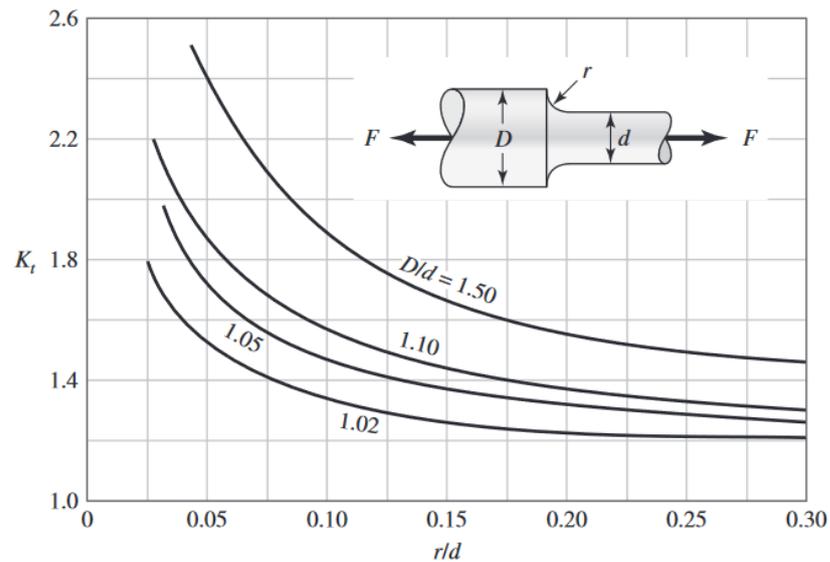


Figura 19. Eje a tensión.

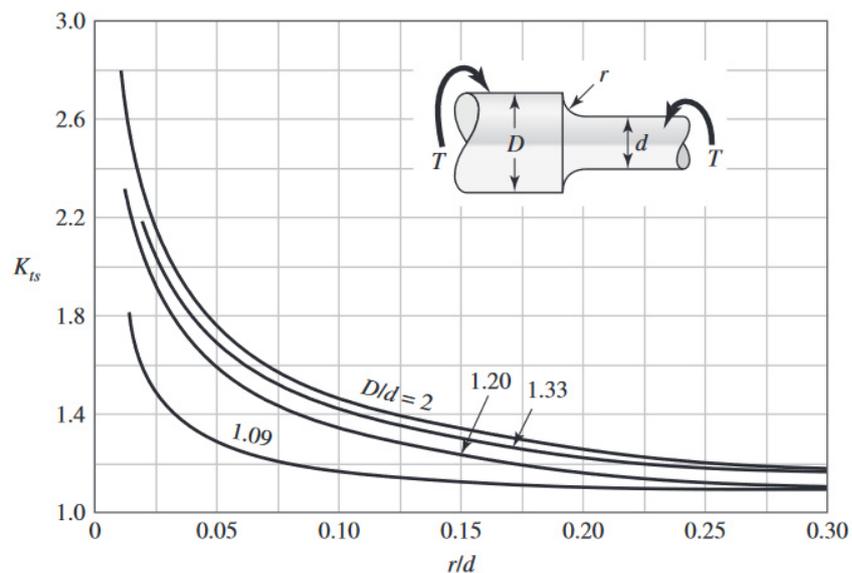


Figura 20. Eje a torsión.

Para un primer acercamiento se considera $K_f = K_t$ y $K_{fs} = K_{ts}$, con la fórmula de diámetro podemos obtener el D recomendado para el prototipo.

$$D = \left[\frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{Kf Ma}{Se} \right)^2 + 3 \left(\frac{Kfs Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3} \quad (7)$$

$$D = \left[\frac{16(2,5)}{\pi} \left[4 \left(\frac{(1,38)(27880) \text{ N.mm}}{176,68 \text{ N.mm}^2} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1,2)(32000) \text{ N.mm}}{276 \text{ N.mm}^2} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$D = 18,51 \text{ mm}$$

Se considera un diámetro D mayor al obtenido, se adquiere un eje de 1 1/8" que equivale a 28.58 mm sin embargo al realizar el eje, el taller lo maquina y se trabaja con un D = 27.5 cm

$$\frac{D}{d} = \frac{27,5}{20} \quad r = \frac{1}{2}(D - d) \quad \frac{r}{d} = \frac{3,75}{20}$$

$$\frac{D}{d} = 1,38 \quad r = \frac{1}{2}(27,5 - 20) \quad \frac{r}{d} = 0,1875$$

$$r = 3,75 \text{ mm} \quad \frac{r}{d} = 0,19$$

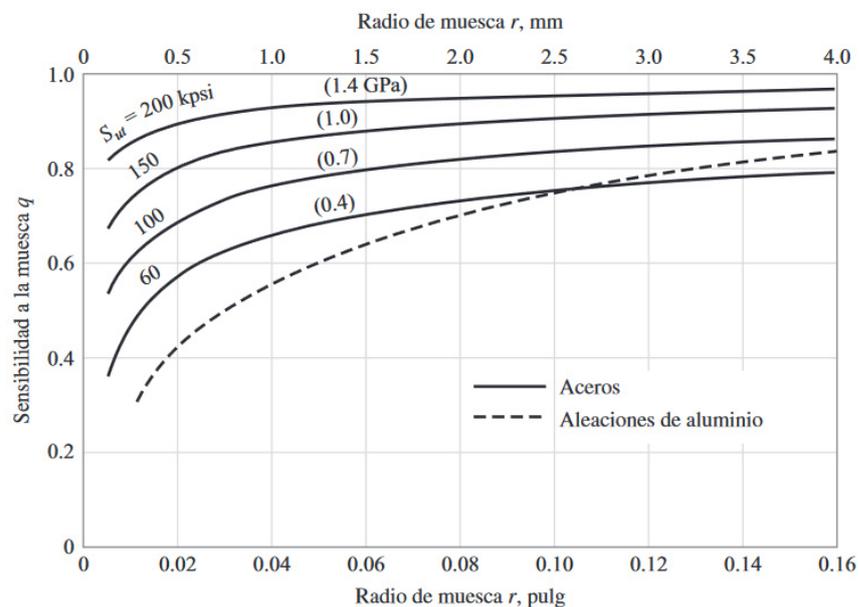


Figura 21. Tabla q.

Obtengo q de la figura 20.

$$Kf = 1 + q(Kt - 1)$$

$$Kf = 1 + (0,98)(1,22 - 1)$$

$$Kf = 1,22$$

$$Kfs = 1 + q(Kf - 1)$$

$$Kf = 1 + (0,98)(1,1 - 1)$$

$$Kf = 1,1$$

Cálculo Esfuerzos:

$$\sigma_a = Kf \left(\frac{32Ma}{\pi d^3} \right)$$

(8)

$$\sigma_a = (1,22) \left(\frac{32(27,88)}{\pi(0,275)^3} \right)$$

$$\sigma_a = 0,017 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 166659,22 \text{ Pa}$$

$$\tau_a = 0; \sigma_m = 0$$

$$\tau_m = Kfs \left(\frac{16Tm}{\pi d^3} \right)$$

(9)

$$\sigma_a = (1,1) \left(\frac{16(32)}{\pi(0,275)^3} \right)$$

$$\sigma_a = 0,00086 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 862,02 \text{ Pa}$$

$$\sigma'_a = ((\sigma_a)^2 + 3\tau_a^2)^{1/2}$$

$$\sigma'_a = \sigma_a$$

$$\sigma'_a = 16659,22Pa$$

(10)

$$\sigma'_m = ((\sigma_m)^2 + 3\tau_m^2)^{1/2}$$

(11)

$$\sigma'_m = [3(862,02)^2]$$

$$\sigma'_m = 1493,06Pa$$

Con estos valores se calcula el factor de seguridad con el eje seleccionado.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{Se} + \frac{\sigma'_m}{Sut} \quad (12)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16659,21[Pa]}{176,675 [Pa]} + \frac{1493 [Pa]}{520 [Pa]}$$

$$\frac{1}{n} = 0,00009$$

$$n = 10291,86$$

Con el factor de seguridad obtenido que es mayor a 1, se asegura que el eje no va a

fallar, sin embargo se debe recordar que el eje esta sobre dimensionado.

Diseño Perno Eje-Motor:

Se selecciona un perno M6 X I SAE 8.8 de acero inoxidable, en esta sección se calcula la longitud y se verifica el factor de seguridad.

Tamaño nominal (mm)	Tipo de cabeza											
	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural			
	W	H	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}	
M5												
M6			10	4.38	0.3							
M8			13	5.68	0.4							
M10			16	6.85	0.4							
M12			18	7.95	0.6	21	7.95	0.6				
M14			21	9.25	0.6	24	9.25	0.6				
M16			24	10.75	0.6	27	10.75	0.6	27	10.75	0.6	
M20			30	13.40	0.8	34	13.40	0.8	34	13.40	0.8	
M24			36	15.90	0.8	41	15.90	0.8	41	15.90	1.0	
M30			46	19.75	1.0	50	19.75	1.0	50	19.75	1.2	
M36			55	23.55	1.0	60	23.55	1.0	60	23.55	1.5	

Figura 22. Dimensiones de pernos de cabeza hexagonal y cuadrada.

$$W = 10 \text{ mm}$$

$$H = 4.38 \text{ mm}$$

$$R = 0.3 \text{ mm}$$

$$l = 2d + 6$$

$$l = 2(6) + 6$$

$$l = 18 \text{ mm}$$

Una vez obtenido la longitud final del perno que se va a utilizar, se calcula K_t y K_p , con los valores reales que se va a utilizar del perno.

Se determina Kt :

$$(13) \quad Kt = \frac{\pi d^2 E}{4 l}$$

Donde:

d = Diámetro del perno.

l = Longitud del perno.

E = Módulo de elasticidad del AISI 304.

$$Kt = \frac{\pi (6)^2 \text{ mm}^2 (193000) \text{ N/mm}^2}{4 (18) \text{ mm}}$$

$$Kt = 303,16 \text{ kN/mm}$$

Se determina Kp :

$$(14) \quad \frac{1}{Kp_{Total}} = \frac{1}{Kp_1} + \frac{1}{Kp_2} + \dots$$

Al trabajar con un solo material (AISI 304), solo se tiene 1 Kp .

$$Kp_1 = \frac{1,25 E d^2}{4l}$$

$$Kp_1 = \frac{1,25(193000) \text{ N/mm}^2 (6^2) \text{ mm}}{4(18) \text{ mm}}$$

$$Kp_1 = 378954,61$$

$$\frac{1}{Kp_{Total}} = \frac{1}{378954,61}$$

$$Kp_{Total} = 378,95 \text{ kN/mm}$$

Para el calculo de la pre-carga mínima $F_{i_{min}}$ para garantizar la unión, se usa la formula:

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, † MPa	Resistencia mínima a la tensión, † MPa	Resistencia mínima a la fluencia, † MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

Figura 23. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero

$$F_{i_{min}} = \frac{K_p P}{K_p + K_t} \quad (15)$$

Donde:

K_p = Constante de rigidez elástica de la unión.

K_t = Constante de rigidez elástica del perno.

P = Carga aplicada.

Se obtiene el valor de la fuerza con la tabla de la figura 24, con la que calcularemos la carga.

Cambiamos los valores al unidades métricas, obtenemos un torque $T = 5.42 \text{ N.m}$ y una fuerza de sujeción $F = 667.24 \text{ N}$

$$P = \frac{5420 \text{ N.mm}}{28,27(0,4) \text{ mm}}$$

METRIC

Stud Size	Recommended Torque* (ft-lbs)	Clamping Force (lbs)	Tensile Force in Stud (lbs)
M6	4	500	1000
M8	9	900	1800
M10	20	1500	3000
M12	35	2200	4400
M16	84	4000	8000
M20	165	6300	12600
M24	283	9000	18000

Figura 24. Valores de torque y fuerza de sujeción.

$$P = 479,31N$$

$$Fi_{min} = \frac{378,95 \text{ kN/mm} \cdot 0,48 \text{ kN}}{(378,95+303,16) \text{ kN/mm}}$$

$$Fi_{min} = 266,66 \text{ N}$$

Calculo esfuerzos de Pre-carga y carga.

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Figura 25. Diámetros y áreas de roscas métricas.

Pre-carga:

$$\sigma_i = \frac{F}{At} \quad (16)$$

Donde:

$$F_{i_{min}} = Pre - carga.$$

$$At = 20,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{266,66 \text{ N}}{20,1 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_i = 13,27 \text{ Mpa}$$

Carga:

$$\sigma_b = \frac{C P + F_{i_{min}}}{At} \quad (17)$$

Donde:

$$C = (K_p / (K_p + K_t))$$

$$P = \text{Carga.}$$

$$\sigma_b = \frac{(0,55)(47931 + 266,66)}{20,1}$$

$$\sigma_b = 13,25 \text{ MPa}$$

Se calcula el par de torsión necesario para lograr la pre-carga, sabiendo que se trabaja con un perno galvanizado:

$$T = K F_{i_{min}} d \quad (18)$$

$$T = (0,2)(266,66)(0,006)$$

$$T = 0,32 \text{ N.m}$$

Condición del perno	K
Sin recubrimiento, acabado negro	0.30
Galvanizado	0.20
Lubricado	0.18
Con recubrimiento de cadmio	0.16
Con Anti-Seize Bowman	0.12
Con tuercas Bowman-Grip	0.09

Figura 26. Factores del par de torsión K.

En cálculos previos, se calculo un par de torsión de 3.2 [N.m] con lo que se confirma que se logra la pre-carga. A continuación se obtiene el factor de seguridad contra la fluencia por esfuerzo estático.

$$\eta_P = \frac{S_p}{\sigma_b}$$

(19)

Se obtiene S_p

$$S_p = 0,85S_y$$

$$S_p = 0,85(660)MPa$$

$$S_p = 561MPa$$

$$\eta_p = \frac{561 MPa}{13,25 MPa}$$

$$\eta_p = 42,34$$

Se calcula el factor de seguridad contra la separación.

$$\eta_o = \frac{F_{i_{min}}}{P(1 - C)}$$

(20)

$$\eta_o = \frac{266,66}{479,31(1-0,55)}$$

$$\eta_o = 1,24$$

Una vez calculados ambos factores de seguridad, se asegura el correcto funcionamiento de los elementos dimensionados.

Calculo pernos de sujeción al motor :

El motor trifásico viene con los agujeros y distancias sugeridas por el fabricante por lo cual Como primer paso se selecciona un arreglo de pernos para la unión, incluyendo la preselección del tipo de perno (diámetro, paso y material), atendiendo a las restricciones geométricas o de cualquier otro tipo y se utiliza el método elástico vectorial (AISD) para comprobar la correcta sujeción.

Se trabaja con un pernos M6 X I SAE 8.8 de Acero Inoxidable, se comprueba que las distancias sugeridas son viables con las siguientes formulas, sabiendo que $a = 10$ cm y $b = 8$ cm

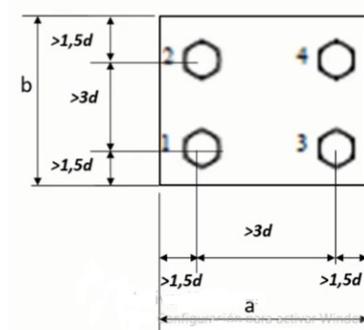


Figura 27. Distancias para prevención de falla.

$$1,5d + 3d + 1,5d \leq a$$

$$1.5d + 3d + 1.5d \leq b \quad (21)$$

Reemplazo con el diámetro escogido

$$1,5d + 3d + 1,5d \leq a$$

$$1,5(0,6) + 3(0,6) + 1,5(0,6) \leq a$$

$$3,6cm \leq 10cm$$

Los valores deben cumplirse en ambos casos :

$$3,6cm \leq 8cm$$

Una vez verificado que se cumple, se calcula la fuerza que se aplica, en la cual se utiliza el peso del motor, el cual se obtuvo con la tabla del anexo D.

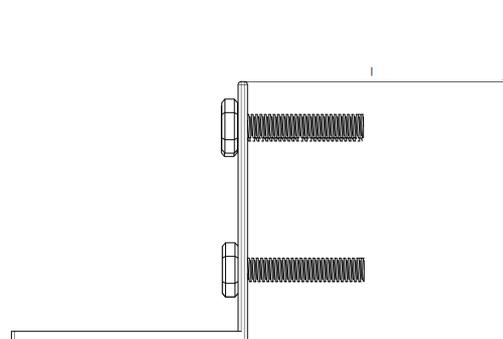


Figura 28. Carga en los pernos

$$P = mg$$

$$P = (7,7)kg(9,8)m/s^2$$

$$P = 75,46N$$

Se procede a la verificación del arreglo con la ubicación del centroide del grupo o arreglo de pernos y la traslación de las cargas a sus equivalentes aplicadas sobre el centroide del

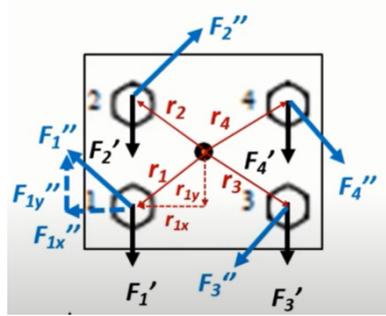


Figura 29. Carga en los pernos

arreglo de pernos.

En la Figura 29 se observa las cargas que se deben calcular para asegurar la unión.

$$F'_n = \frac{P}{N}$$

$$F'_n = \frac{75,46}{4}$$

$$F'_n = 18,87 N$$

$$F'_n = + F1' + + F2' + F3' + F4'$$

Una vez calculada la carga que soporta cada perno se busca el momento que esta dado por:

$$M = Pl = K(r1^2 + r2^2 + r3^2 + r4^2) \quad (22)$$

l, es la distancia desde el el centro del motor al perno, la cual es de 5 cm

$$M = (75,46)(0,5)$$

$$M = 37,73 Nm$$

Se encuentra la cargas cortantes secundarias despejando la formula 23

$$M = 4(F''(r))$$

$$37,73 = 4F''(0,35)$$

$$F'' = 26,95$$

Para el casa específico del prototipo $F1' = F1y'$, con las formulas :

$$F1x'' = \frac{Plr1y}{(r1^2 + r2^2 + r3^2 + r4^2)} \quad (23)$$

$$F1x = 9,34N$$

$$F1y'' = \frac{Plr1x}{(r1^2 + r2^2 + r3^2 + r4^2)} \quad (24)$$

$$F1y = 9,34N$$

Al tratarse de cargas equidistantes , se obtiene las fuerzas solo una vez ya que las demás serán de igual valor.

A continuación se busca el punto critico, se utiliza la fórmula 26 para los pernos 1 y 2 y la formula 27 para los pernos 3 y 4.

$$F_{total1-2} = \sqrt{(-Fy' + Fy'')^2 + (Fx'')^2} \quad (25)$$

$$F_{total1-2} = \sqrt{90,82 + 87,25}$$

$$F_{total1-2} = \sqrt{178,06}$$

$$F_{total1-2} = 13,34[N]$$

$$F_{total3-4} = \sqrt{(Fy' + Fy'')^2 + (Fx'')^2} \quad (26)$$

$$F_{total3-4} = \sqrt{795,80 + 87,25}$$

$$F_{total3-4} = \sqrt{883,04}$$

$$F_{total3-4} = 29,72[N]$$

El punto crítico se encuentra en los pernos 3 y 4, en los cuales se realiza una comprobación con esfuerzos cortantes.

$$\tau = \frac{F_{total}}{At} < \tau_{admi} = \frac{S_{yt}}{2fs} \quad (27)$$

At, se obtiene de los cálculos previos , por lo cual :

$$\tau = \frac{0,02872}{17,9} < \tau_{admi} = \frac{205}{(2)(3)}$$

$$0,0016MPa < 34,17MPa$$

El esfuerzo cortante que se tiene es mucho menor al admisible, por lo cual no existirá falla.

Estructura: Para esta pieza se realiza una simulación agregando el peso del motor y las piezas como una fuerza, además de definir como una geometría fija a los cuatro puntos de apoyo.

La simulación se hace en el SolidWorks, se analiza los desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad, en las figuras 30, 31 y 32 se observa que en los 3 casos los valores están dentro de los parámetros para un funcionamiento correcto.

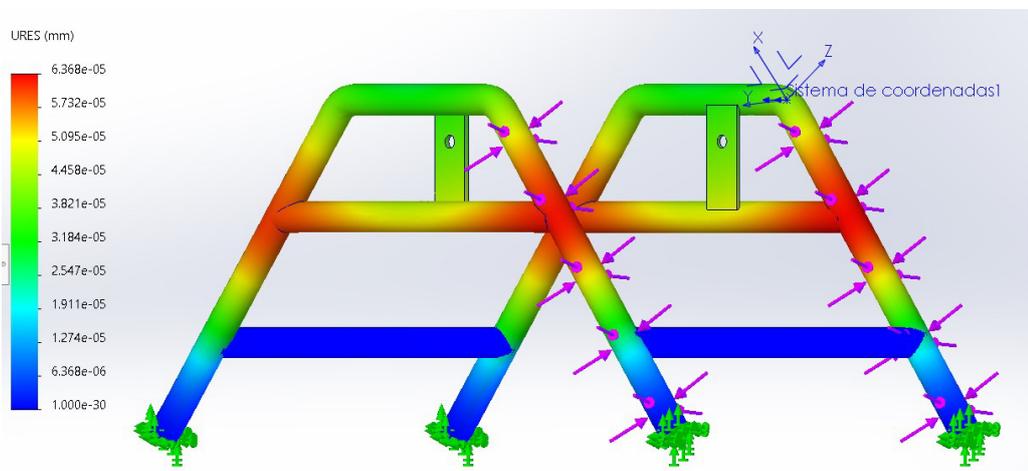


Figura 30. Desplazamiento estático.

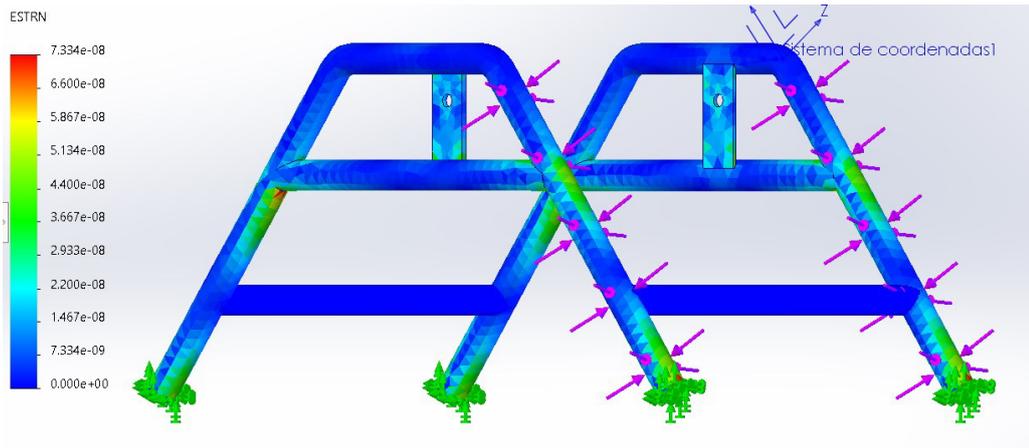


Figura 31. Deformación unitaria.

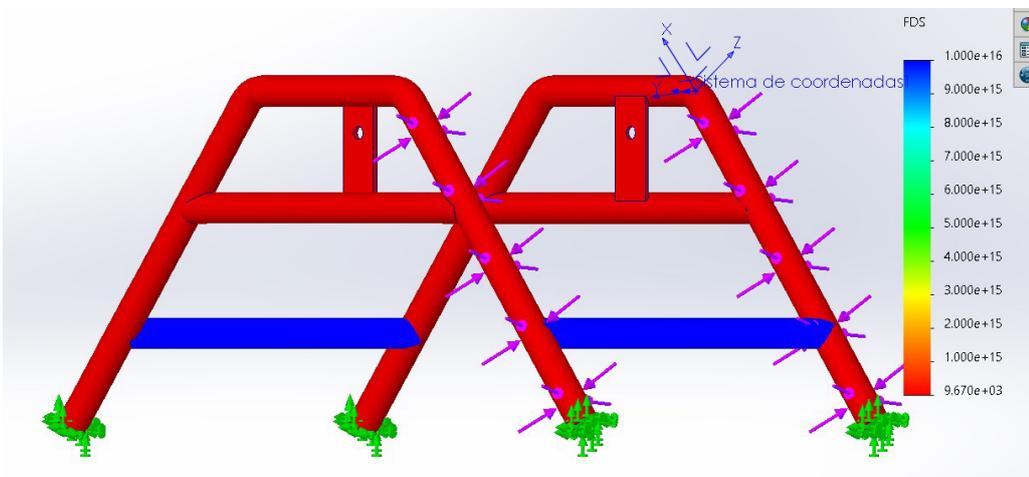


Figura 32. Factor de seguridad.

8.3. Dimensionamiento electrónico

Con el fin de seleccionar los componentes electrónicos adecuados, es fundamental tener un conocimiento detallado de los elementos requeridos por la máquina. Para facilitar este proceso, se ha creado un diagrama de bloques que muestra las diferentes partes que componen la máquina. De esta manera, se puede identificar claramente los componentes electrónicos necesarios y garantizar su correcta elección, en la Figura 33 se presenta el diagrama de bloques.

A continuación, se proporciona una descripción detallada de cada uno de los elementos que se encuentran representados en el diagrama:

1. Sensores

- Sensor de temperatura: El termopar tipo J es un dispositivo de medición de tem-

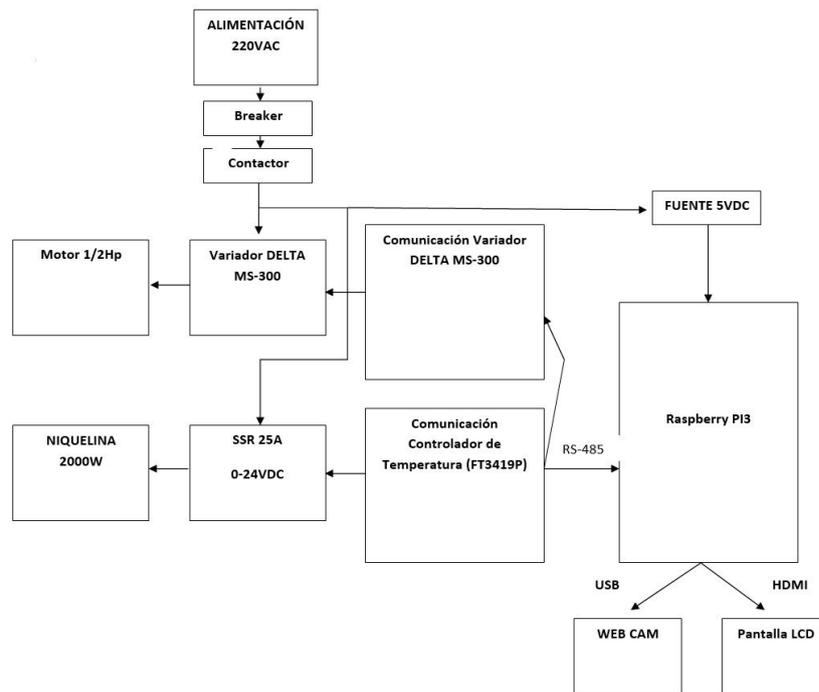


Figura 33. Diagrama de bloques para dimensionamiento electrónico

peratura compuesto por una combinación de dos metales diferentes, hierro y constantán, que se unen en un extremo formando una unión de medida. Al aplicar una diferencia de temperatura entre la unión de medida y el otro extremo del termopar, se genera una corriente eléctrica de bajo voltaje. Esta corriente es proporcional a la diferencia de temperatura y se utiliza para determinar la temperatura .

El termopar tipo J es ampliamente utilizado debido a su amplio rango de temperatura, precisión y resistencia a la corrosión. Se aplica en diversos entornos industriales y de laboratorio donde se requiere una medición precisa de la temperatura en condiciones variables, por lo cual se elige para la turroneira.

Para calcular la potencia con la que la resistencia debe trabajar ,se parte de los datos que se tiene , es decir se sabe que al trabajar con cilindro de gas azul (método utilizado en la investigación de campo) este nos da entre 10 000 a 20 000 BTU, trabajamos con el promedio de este rango y con el tiempo empleado para hacer la mezcla que es de 3 horas o 10800 segundos.

Conociendo la formula de potencia :

$$P = \frac{W}{t} \quad (28)$$

Donde

P potencia, en BTU/s;

W vatios.

t tiempo.

Se reemplaza los valores

$$P = \frac{15000 \text{ BTU}}{10800 \text{ s}}$$

$$P = 1,388 \text{ BTU/s}$$

$$P = 1,466 \text{ kW}$$

La resistencia debe trabajar con una potencia de 1.455 kw, las opciones para esta son resistencias planas circulas o tubulares, debido a la geometría del recipiente, la mejor opción es la plana circular.

Una de las ventajas de las resistencias planas es su diseño compacto, que permite una fácil integración en diferentes sistemas y placas de circuito impreso. Además, ofrecen una mayor superficie de disipación de calor en comparación con las resistencias cilíndricas, lo que las hace especialmente adecuadas para aplicaciones de alta potencia [21] .

En la figura 34 se muestra 3 variaciones de resistencias planas, se opta por la resistencia completa, ya que se necesita que la masa se cocine de manera uniforme.



Figura 34. Resistencias planas circulares.

2. Controladores

- Variador de velocidad: Se elige el variador DELTA MS-300, también conocido como variador de frecuencia, inversor de frecuencia o drive, tiene la capacidad de modificar la frecuencia y la tensión suministrada al motor, permitiendo así regular su velocidad de funcionamiento.

El MS300 se destaca por su diseño compacto, lo que facilita su instalación y configuración. Además, ofrece un rendimiento estable y confiable, asegurando un funcionamiento óptimo. También cuenta con funciones de protección y control, tales como protección contra sobrecarga, frenado regenerativo y control PID, entre otras, que garantizan la seguridad y el correcto funcionamiento del motor [22].

- Controlador de temperatura: El control de temperatura FT3419P es elegido ya que ofrece una alta precisión en la regulación de la temperatura, lo que garantiza un control óptimo del proceso. Además, cuenta con una interfaz amigable y de fácil uso, lo que facilita su configuración y ajuste por parte del usuario.



Figura 35. Variador Delta MS 300

Este controlador es compatible con una amplia gama de sensores de temperatura, lo que permite adaptarse a diferentes tipos de procesos y necesidades específicas. Asimismo, ofrece diferentes modos de control, como el control PID y el control TPC, brindando opciones adicionales para ajustar el comportamiento del sistema de control de temperatura.

Además, el FT3419P ofrece características de seguridad y protección, como alarmas configurables y funciones de apagado automático en caso de condiciones anormales, lo que ayuda a prevenir situaciones de riesgo y asegurar la integridad del proceso y los equipos [23].



Figura 36. Control de temperatura FT3419P

- Raspberry pi 3b+: Se utiliza este controlador debido a su excelente rendimiento a un precio asequible en comparación con otras opciones de hardware. Además dispone de una variedad de puertos, incluyendo puertos USB, HDMI, Ethernet, y GPIO (General Purpose Input/Output), que permiten la conexión y control de

diversos dispositivos externos.



Figura 37. Raspberry Pi 3b+

- Interfaz

- Pantalla: Para la pantalla se elige una LCD HDMI Táctil de 7 pulgadas, por su resolución, tamaño y compatibilidad con el raspberry.



Figura 38. Pantalla HDMI LCD

3. Circuito de Potencia.

Para el correcto funcionamiento del motor se realiza una configuración de fuerza y mando para el moto-reductor

- Circuito de Fuerza: En la figura 39 se muestra a representación esquemática de un arranque directo para un motor-reductor. En la tabla 17 se detalla cada uno de los elementos.

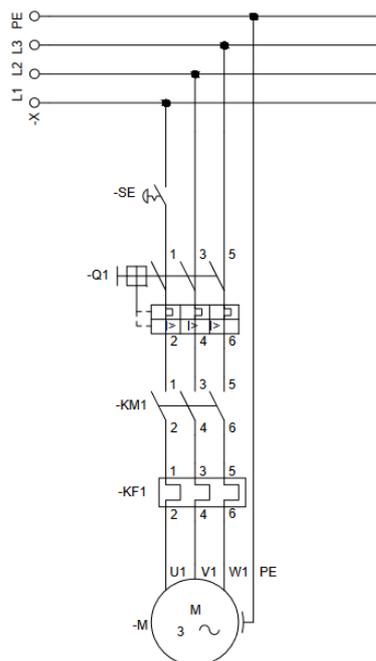


Figura 39. Circuito de fuerza.

Tabla 16. Componentes Circuito de Fuerza

NOMENCLATURA	COMPONENTE	FUNCIÓN	IMAGEN
SE	Pulsador tipo Hongo	Paro de Emergencia	
Q1	Breaker	Proteccion contra altas corrientes	
KM1	Contactador	Abrir y cerrar el circuito	
KF1	Relé de Estado Solido	Protección motor	
M1	Moto-reductor	Batir	

- Circuito de mando: En la figura 40 se observa un esquema del control de mando del moto-reductor. Se implementa un circuito de marcha y paro representando el interruptor utilizado para el encendido y apagado, además de un relé que envía la señal que recibe del modulo Raspberry. En la tabla 18 se detalla cada uno de

los elementos usados.

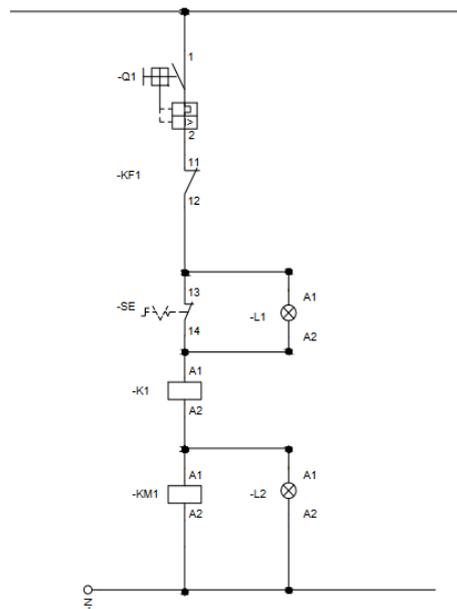


Figura 40. Circuito de mando.

Tabla 17. Componentes Circuito de Mando

NOMENCLATURA	COMPONENTE	FUNCIÓN	IMAGEN
Q1	Breaker	Protección contra altas corrientes	
KF1	Relé de Estado Solido	Protección motor	
S1	Interruptor Selector	Enciende el circuito	
K1	Relé	Batir	
KM1	Moto-reductor	Recibe señal para abrir o cerrar el circuito.	
L1	Luz Piloto Verde	Indica Encendido	

8.4. Desarrollo de la programación

Se lleva a cabo el control del moto-reductor de la turroneira y el control de la temperatura que se disipa al recipiente, estos 2 factores no dependen uno del otro, la velocidad aumenta hasta un set point (la velocidad máxima a la que se debe mezclar) determinado y en la etapa final reduce esa velocidad, mientras que la temperatura aumenta de manera lineal y se mantiene en esa temperatura máxima de ser el caso que la masa no tenga el color correcto, el que sera verificado con la ayuda de una cámara digital. Todo este proceso se trabaja de manera automática, son recetas que ya tienen delimitados los tiempos en los que se va variando los 2 factores y que ayudan a obtener de manera óptima el color de la mezcla, sin embargo el usuario también puede ingresar directamente en la interfaz una velocidad, temperatura y tiempo determinado y esta cumplirá con esto y se detendrá.

El código se desarrolla en Python 3.6 , por la facilidad de su código además de ser uno de los programas mas utilizados para análisis de datos, aprendizaje automático, e inteligencia artificial. Python es un lenguaje de programación open source utilizado para el desarrollo de software. Es un lenguaje de programación de alto nivel el cual maneja el paradigma de POO, cuenta con una sencilla sintaxis y múltiples módulos, librerías e integraciones con otros sistemas.

Características técnicas del lenguaje Python:

- No hay compilación de código.
- Sin declaración de tipos de variables.
- Programación orientada a objetos.
- Dinámico, interactivo.
- Entornos de desarrollo GUI multiplataforma.

Para el desarrollo de la interfaz de usuario gráfica, se decidió utilizar el modulo de Tkinter debido a que es multiplataforma, por lo que el mismo código funciona tanto en Linux,

Windows y MacOS. Para la creación de interfaces gráficas se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Creación de componentes.
- Configuración del componente.
- Disposición del componente.
- Configuración de eventos.

El modulo Tkinter es simple de usar, ligero y permite la integración con múltiples librerías y módulos de python.

Para la detección del color de la mezcla de los turrone se utilizo la librería OpenCV, la cual permite la alteración y uso de código fuente para el uso en proyectos comerciales y académicos. Esta compuesta por algoritmos de visión computarizada. Las principales funciones de OpenCv se enfocan en el procesamiento de imágenes en tiempo real, permitiendo capturer frames, procesarlos y obtener diversas características.

Ventanas:

- Presentación : En esta interfaz se muestra los datos informativos del presente proyecto. En la Figura 41 se observa la información del proyecto y el botón de inicio que permite acceder a la ventana del proceso.
- Proceso : En la ventana de procesos se ingresa los tiempos, frecuencias y temperatura del prototipo para la operación en modo manual. Para la operación del sistema en modo automático se tiene 3 recetas en las que cambian las velocidades de operación y la temperatura.

En la figura 43 se observa el diagrama de flujo utilizado para la programación del programa.



Figura 41. Ventana de presentación.



Figura 42. Ventana de Procesos

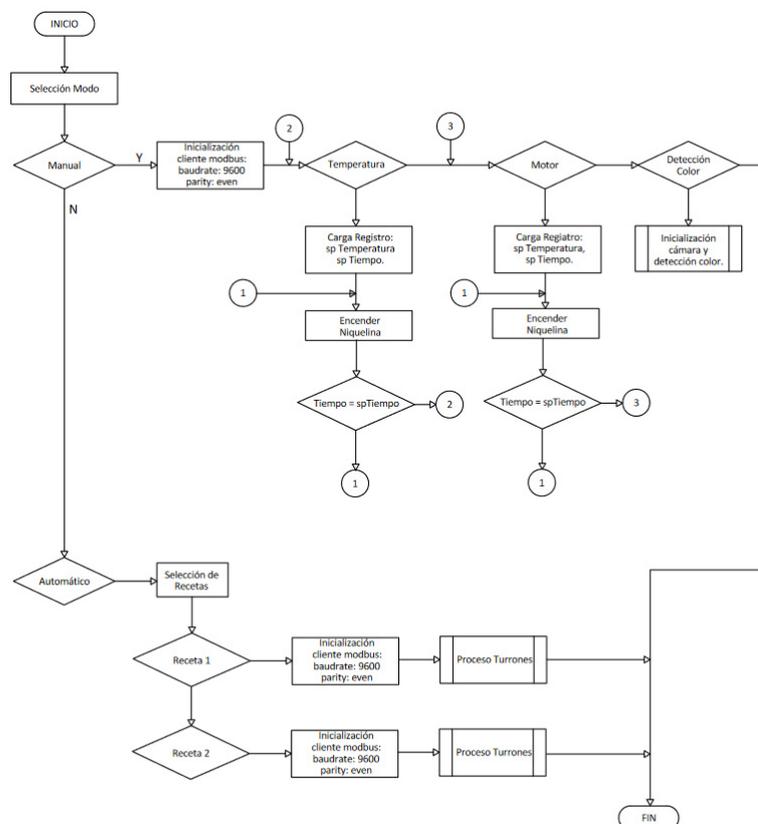


Figura 43. Diagrama de flujo.

- Captura de imagen: Una vez terminado el tiempo ingresado manualmente o acabada la receta, se procede a tomar una foto de la masa para la detección del color que tiene ese momento y determinar si es el correcto.



Figura 44. Imagen capturada (color incorrecto)



Figura 45. Imagen capturada (color correcto)

- Imagen HSV : El formato HSV (Hue, Saturation, Value) es utilizado para representar imágenes y se basa en un modelo de color que captura la información de tonalidad, saturación y valor de los píxeles. En este modelo, el componente Hue define el matiz o color principal, abarcando todo el espectro de colores. La componente Saturation representa la intensidad o pureza del color, donde valores altos indican colores vibrantes y valores bajos se acercan al gris. Por otro lado, el componente Value indica el brillo o luminosidad de la imagen, con valores altos para colores claros y valores bajos para colores oscuros.

Para el color que se obtiene de la masa cuando ya esta lista se utilizaron los valores: Hue = 78, Saturation = 227 y Value = 255.

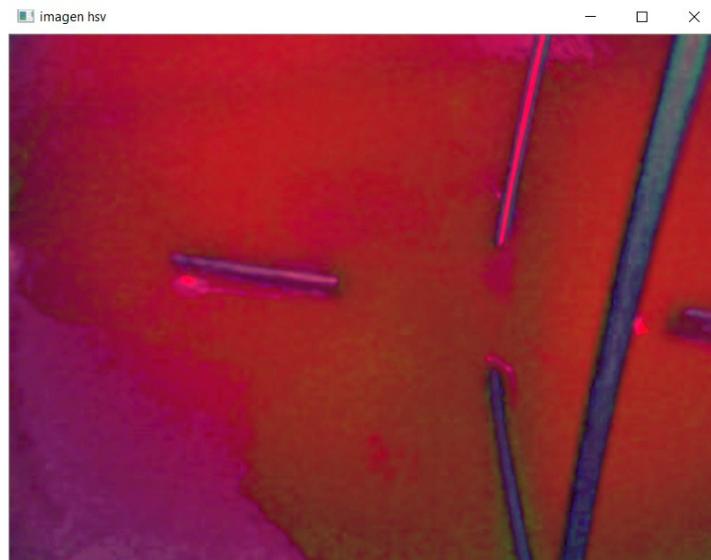


Figura 46. Transformación a Imagen HSV. (Color Incorrecto).



Figura 47. Transformación a Imagen HSV. (Color Correcto).

- **Imagen Filtrada:** La imagen es procesada aplicando la máscara previamente definida, lo que resulta en una imagen filtrada. En esta imagen filtrada, únicamente los píxeles que cumplen con los requisitos de color establecidos permanecen visibles, mientras que los demás se vuelven negros o transparentes. Este proceso de aplicación de la máscara garantiza que solo se conserven los píxeles que coinciden con el color deseado.



Figura 48. Imagen filtrada (color incorrecto)



Figura 49. Imagen filtrada (color correcto)

9. Construcción

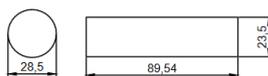
Todas las piezas especificadas en los planos mecánicos fueron realizadas en un taller con el material acero inoxidable 304 ya que se trata de piezas que van a estar en contacto con la comida.

- Plancha inox (122x244):

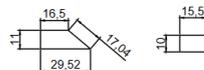
Se calcula el perímetro de las piezas que van a ser cortadas de la plancha de dimensiones 122 x 244 todas las dimensiones se encuentran en centímetros.

Se realiza el bosquejo solicitado por el taller de la posición de las piezas en la plancha, con lo cual se logra apreciar que no es necesario utilizar mas de 1/3 del material total.

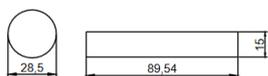
RECIPIENTE



SOPORTE INFERIOR Y SUPERIOR MOTOR



RECIPIENTE RESISTENCIA



Base Apoyo Camara



Figura 50. Perímetros piezas de espesor 2 milímetros

PLANCHA 122 X 244

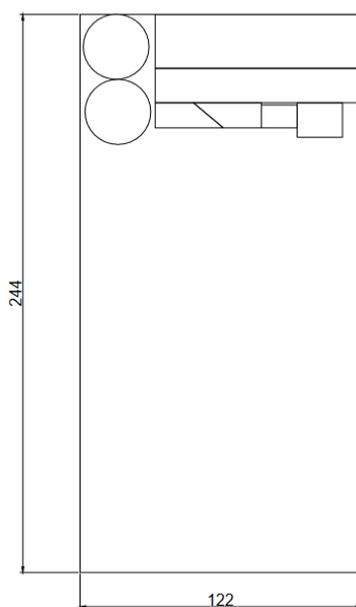


Figura 51. Distribución piezas

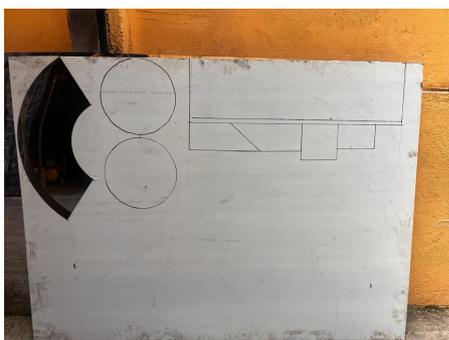


Figura 52. Piezas a cortar

- Perímetro tubo base:

La estructura que sostiene toda la turronera se desarrolla con tubo de diámetro 3 centímetros y de espesor de 3 milímetros, comercialmente el tubo se vende por unidades de 600 centímetros, lo cual es suficiente para la estructura, ya que se obtiene un perímetro total de 339 centímetros, tomando en cuenta que las piezas de las figuras 53 y 54 se deben realizar ambas 2 veces y redondeando al inmediato superior

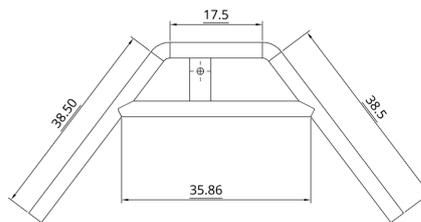


Figura 53. Pieza Lateral

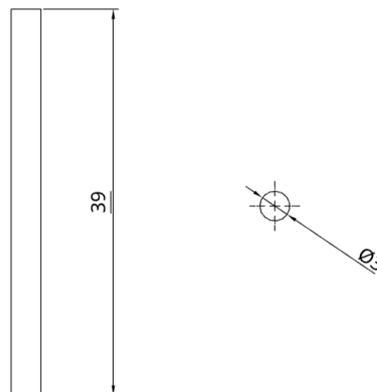


Figura 54. Pieza soporte

- Perímetro tubo cuadrado:

Las piezas tituladas Soporte Inferior Motor y Soporte Superior Motor de los planos D01-402 y D01-501 se realizan con tubo cuadrado 5 x 5 cm y de espesor 3 mm, sumando ambos largos tenemos un total de 69.7 cm por lo cual se adquiere un metro de tubo cuadrado.

- Perímetro tubo aspas:

Debido al modelo elegido para las aspas, que se especifica en la sección 7.9 del documento, se busca un tubo de diámetro 5 mm, por su peso y geometría que beneficia

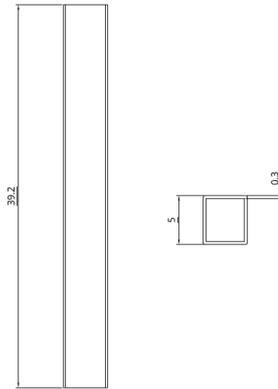


Figura 55. Perímetro soporte inferior motor

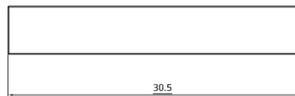


Figura 56. Perímetro Soporte superior motor

a la mezcla de la masa. El perímetro total de tubo necesario es de 117.9 por lo cual se adquiere un metro y medio de material.

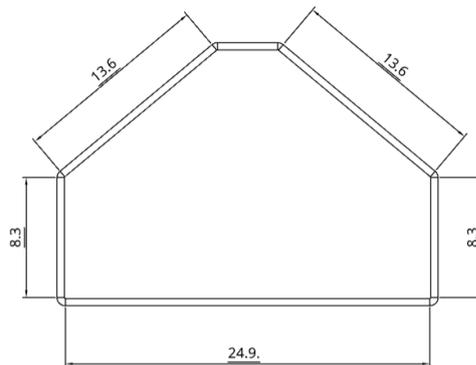


Figura 57. Perímetro pieza aspa 1

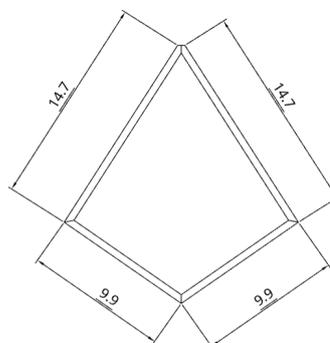


Figura 58. Perímetro pieza aspa 2

- Varios: Para algunos elementos se re utilizo retazos de planchas/tubo/tubing que la empresa tenia a disposición.

Se arma cada una de las piezas con la ayuda de la suelda TIG (Tungsten Inert Gas) la cual es apropiada para una diversidad de materiales, abarcando desde acero inoxidable, acero al carbono, aluminio, cobre, titanio y otros más, además genera una unión sin salpicaduras, lo que disminuye la necesidad de realizar tareas de limpieza adicionales.

Las piezas realizados son:

- Recipiente: Se utilizan 2 piezas, como se observa en la figura 59, y se aplican 2 sueldas, una alrededor del diámetro total y otra de manera vertical para cerrar las paredes de este.



Figura 59. Recipiente

- Aspas: Compuesta por 2 piezas que se sueldan juntas en la parte superior de estas, además de tener 3 retazos adicionales soldados en la parte inferior, que ayudan a que la masa del turrón no se queme por falta de movimiento.



Figura 60. Aspas

- Eje: El eje fue diseñado y elegido respecto a los cálculos obtenidos y la disponibilidad del mercado de los materiales, en ambos ejes se realiza un agujero para permitir el ajuste con un perno y mariposa de diámetro 1/4 "



Figura 61. Eje

- Soporte inferior motor: El soporte inferior esta formado por 4 piezas, 3 de ellas especificadas previamente, además de una pieza adicional en forma de T que va soldada a la parte posterior de del tubo cuadrado, la cual nos facilita el ingreso de los materiales así como la obtención de la masa al finalizar.



Figura 62. Soporte inferior motor

- Soporte superior motor: Este soporte también esta formado por 4 piezas, 2 especificadas previamente y 2 dos aros de diámetro 2 cm con el cual es posible el movimiento del motor para carga y descarga de material, esta pieza va sujeta al motor por 4 pernos de diámetro 1/4".
- Recipiente resistencia : Este recipiente se utiliza para la colocación de la resistencia que no es completamente plana por lo cual no cubre en su totalidad la base del recipiente, por lo cual con la ayuda de 2 acoples y de fibra de vidrio la cual cubre la



Figura 63. Soporte superior motor

resistencia y transmite el calor al recipiente.



Figura 64. Recipiente resistencia

- Apoyo cámara : el apoyo de la cámara consta de 5 partes, una de las cuales se realiza con la planche de 2 mm, tiene dos tubos de 3.75 y 2.5 de diámetro que forman un matrimonio, seguido de un brazo hecho de tubo cuadrado de dimensiones 2.5x2.5x18 y espesor 1 mm, finalmente para el ajuste de la cámara, se utiliza un pedazo de 2.8 cm del tubo 4x4 y espesor 2 mm que tendrá un agujero en la parte inferior para asegurar la cámara .



Figura 65. Apoyo cámara

9.1. Eléctrico Y electrónico

1. Electrónico: El funcionamiento de la turrонера se apoya en su mayoría en elementos de potencia, como se puede apreciar con los circuitos realizados de fuerza y mando, sin embargo se trabaja con el Raspberry pi, la cámara web, la pantalla táctil y un relé DE 5 vdc que nos ayuda con el envío de las señales.

Al tratarse de componentes que se conectan a un puerto directo en la Raspberry, no se considera necesario realizar una placa.

A continuación en las figuras 66 y 67 se observa un esquemático del circuito y el circuito final implementado en el tablero.

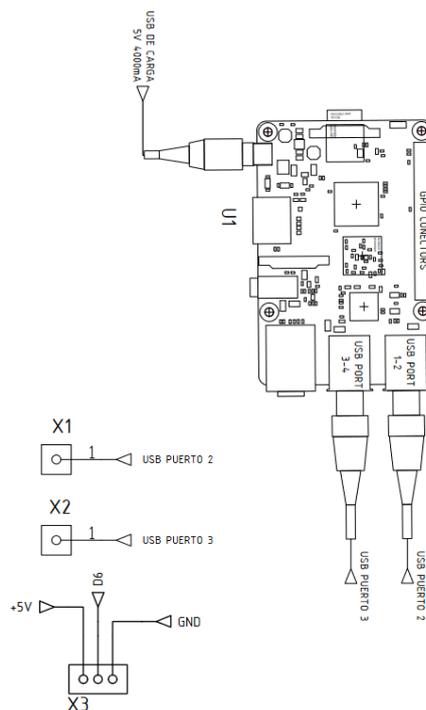


Figura 66. Circuito eléctrico

2. Eléctrico: Una vez definido los elementos electrónicos se unen con el circuito de fuerza, el cual se detalla en el esquemático de la sección 8.3, cabe mencionar que el tablero utilizado en el proyecto se reciclo por la empresa de otro trabajo, esta tenía incluido dos interruptores, de los cuales uno se reutilizó para el encendido y apagado de la turrонера, dos luces piloto verdes a 110 v la cual una se utilizó para indicar que

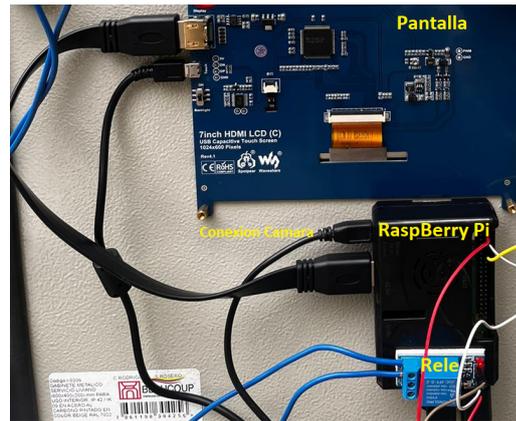


Figura 67. Circuito eléctrico implementado

el sistema esta encendido y un potenciómetro, que al inicio de la construcción del prototipo se uso para el control de la velocidad de batido, sin embargo al agregar la parte de control, se realiza el cambio directamente con el programa o con las recetas en las cuales los cambios están previamente definidos. En la figura 68 se observa el tablero en su estado inicial.



Figura 68. Tablero inicial

Adicional a esto se realiza un corte de 16x10 cm que son las dimensiones de la pantalla táctil, se etiqueta cada componente y se tiene el tablero final en la figura 69.

Los elementos dentro del tablero se posicionan con ayudas de rieles Y canaletas para que los cables se almacenen de manera correcta, se utilizan cables color azul y negro



Figura 69. Tablero final

se utilizan para conexiones DC, los colores rojo y blanco para AC y verde para neutro.

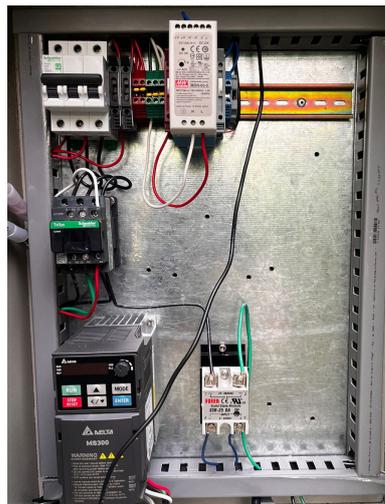


Figura 70. Circuito de fuerza final

Por último, en las Figuras 71 y 72 se puede apreciar la máquina completamente cons- truida, y a continuación se llevan a cabo las pruebas necesarias para evaluar su funciona- miento.

Se realiza una tabla con todos los costos de los elementos, sin embargo se toma en cuenta que no todo el material comprado se utiliza, en el caso de la plancha, los tubos cuadrados y circulares, los cuales, como se menciona previamente, se venden por metros de unidades definidas. Los precios ya incluyen iva.



Figura 71. Vista superior turronera



Figura 72. Vista lateral turronera

Tabla 18. Costos de ensamblaje

Razón	Valor (USD)
Plancha Inox 122 x 244 cm	180
Tubo Circular Diámetro 3 cm	40
Tubo Cuadrado 5x5 cm	80
Eje Diámetro 5 mm	8
Corte y Dobleces Piezas	50
Suelda TIG	120
Piezas Varias	30
Motor-reductor	280
Material Electrónico	335
Material Eléctrico	620
Cableado	10
TOTAL	1753

10. Pruebas

Con el prototipo construido se procede a realizar 2 pruebas diferentes, las que ayudan a obtener una masa óptima para el turrón.

10.1. Prueba 1: Funcionalidad

Es esta prueba, se verifica que todos los componentes trabajen de manera correcta, es decir el giro del eje del motor, que los elementos de control envíen y reciban las señales de manera correcta y que la cámara reconozca el color adecuado.

Al energizar todo el sistema, se enciende una luz piloto verde y la pantalla táctil que permite ingresar al programa y elegir las recetas, en el caso de querer trabajar de manera automática, o ingresar los valores manualmente. Al finalizar un proceso la mezcla se detiene y la cámara captura una imagen del color de la masa en ese momento, y verifica si es el color adecuado, si no lo es, una luz piloto roja parpadea en señal de que la masa esta dañada. El sistema cuenta con un botón de emergencia el cual al ser activado detiene todo y la luz piloto rojo se mantiene encendida.

10.2. Prueba 2: Proceso de mezcla

Una vez todo el sistema esta funcionando, se procede a realizar pruebas. Para encontrar la temperatura, tiempo y velocidad adecuada para las recetas, se parte de la investigación de campo en la cual el recipiente llega a una temperatura máxima de 108 °C y empieza con 23.6 °C o temperatura ambiente, en 12 tiempos, que fue el número de veces que se tomo la temperatura en el lapso de los 1800 minutos, para la receta se reduce las etapas a 6 por lo que se decide utilizar la temperatura promedio entre cada etapa, es decir, las temperaturas de la receta serán: 28.8 - 41.05 - 53.2 - 68.5 - 92.4 - 85.8 . Se trabajo con número enteros por lo que las temperaturas finales son : 29 - 42 - 54 - 69 - 93 - 86, se puede observar que la temperatura aumenta hasta un punto para luego disminuir, por lo que se realiza lo mismo para la velocidad, se sabe que en la investigación de campo se obtuvo un rango de valores,el cuál se considera adecuado triplicar ya que pasa de un movimiento manual

a uno automático y se busca reducir el tiempo y rapidez de mezclado, se empieza con un movimiento relativamente suave de 120 rpm, que son las unidades con las que se realiza el código, y este valor lo incrementamos en intervalos de 60 unidades ; 120 -180- 240 - 300 - 360 - 300. Los tiempos se reducen a 20 minutos por etapa, ya que el proceso a mano requiere más tiempo de mezcla por lo que no es continuo.

Tabla 19. Receta 1

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo Transcurrido (min)
29	120	20
42	180	40
54	240	60
69	300	80
93	360	100
86	300	120

- Receta 1 (Resultados) : Los primeros 60 minutos la masa se mezcla de manera correcta y uniforme, no se forma espuma o grumos y el color se va blanqueando a medida que pasa el tiempo, sin embargo en la etapa 4 en la que la temperatura aumenta a 69 °C esta se quemó, volviéndola a un tono café y un sabor amargo. Se descarta la Receta.



Figura 73. Masa quemada

La solución planteada es reducir la temperatura, guiándose de la temperatura máxima a la que llegue la masa en la prueba de campo y que la velocidad varíe de mayor a menor para evitar que la masa se quemé. Con estos datos se plantea la Receta 2 de la tabla 21.

Tabla 20. Receta 2

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo Transcurrido (min)
28	220	20
35	180	40
38	160	60
44	140	80
49	160	100
50	220	120

- Receta 2 (Resultados): En los primeros 20 minutos se observa , se forman burbujas en la masa, sin embargo se decide seguir con la prueba, a los 60 minutos se ve que además de las burbujas también se formaron grumos debido a que el azúcar no se logro integrar a la masa, ambos problemas se deben a la velocidad inicial, que no permite que la masa se unifique, obteniendo una masa airosa. En la prueba también se nota que la masa llega a su punto a los 100 minutos aproximadamente.

**Figura 74.** Masa con grumos

Se propone, en primer lugar que la velocidad incremente y no disminuya, ya que de esta manera todos los ingredientes pueden mezclarse sin crear grumos o burbujas, con respecto a la temperatura se cambian los valores pero en pequeñas variaciones. Finalmente como se menciona la mezcla se logra en los 100 minutos por lo que se reducen las etapas y se define la receta que se observar en la tabla 22.

Tabla 21. Receta 3

Temperatura (Centígrados)	Velocidad (rpm)	Tiempo Transcurrido (min)
25	140	15
35	170	45
45	200	60
55	180	90
40	160	105

- Receta 3 (Resultados): La receta obtenida es la óptima, la masa no crea burbujas o grumos y cocina de maneja correcta, obteniendo el color deseado con lo cual se procede a agregar el fruto seco de elección a la masa como se puede observar en la figura 111.

**Figura 75. Masa con el fruto seco**

10.3. Consumo de energía

Elemento	Potencia (W)	Horas al Dia	Consumo kW/h
Motor	372.85	1.75	0.65
Resistencia	2000	1.75	3.5
Circuito	195.13	1.75	0.34
TOTAL			4.49

10.4. Costo de operación

Considerando que la turroneira trabaja 22 días laborables al mes (excluyendo fines de semana), se obtiene un consumo mensual de 98.78 kWh/mes, sabiendo que la tarifa na-

cional promedio de servicio eléctrico actualmente es de 9.2 centavos de dólar por cada kilovatio hora (¢USD/kWh), teniendo un costo mensual final de \$9,02 [24].

11. Conclusiones

El prototipo de turroneira semiautomática de medidas (652.47 x 563.10 x 710.41 cm), se diseñó con una capacidad de masa de 15 kg, el proceso cuenta de 3 partes fundamentales a controlar, las cuales son, velocidad, temperatura y control de color, la máquina está diseñada para trabajar a una temperatura máxima de 80 °C y una velocidad angular máxima de 80 rpm. El proceso de realización de la masa dura 105 minutos, una disminución notable al proceso manual que es de 180 minutos.

Una vez construida la turroneira, se procede a la realización de pruebas para encontrar la receta correcta en la que la masa de turrón tiene la coloración y textura adecuada, ambos factores dependerán de las variaciones de temperatura y velocidad que se indiquen en las recetas, por lo cual las pruebas son fundamentales, sin embargo por el costo de las mismas - se requiere la compra del material- se realizan 4 pruebas, 3 en las que se utilizan para definir los rangos de variaciones y tiempo y una final, para asegurarse que los datos elegidos funcionen.

Debido a las características de la máquina se plantea el uso de la misma no solo para la realización de masa de turrón, ya que al ser una mezcladora con variación de temperatura, se puede agregar recetas en el código en el cual se realicen otros procesos de comida.

El costo final del prototipo fue de 1753 dolares, sin embargo en este valor no se toma en cuenta que no todo el material fue usado, como la plancha de acero inoxidable, la cual solo se usó 1/3 de la misma.

Como se calcula en el apartado 10.4 el consumo de energía mensual de la máquina es de \$9,02, un valor aceptable para la obtención de ganancias.

12. Recomendaciones

El prototipo se centro en la cocción y obtención de la masa, sin embargo se plantea la implementación de carga y descarga de la masa de manera automática, asimismo como la automatización de todo el proceso es decir, la colocación de la masa en las obleas, el corte de los turroneos y el proceso de envoltura.

Se recomienda siempre al terminar un proceso limpiar los residuos de masa restantes en el recipiente, llenando el recipiente con agua y haciendo que la temperatura aumente de manera manual para que todo residuo se despegue de la superficie.

Al trabajar con un pico de alta temperatura hasta que se produzca el PID se recomienda utilizar lana de vidrio como aislante térmico para evitar pérdidas de calor.

El prototipo esta sobre dimensionado, debido a que muchos de los elementos usados en este fueron reciclados de otros proyectos, por lo cual se recomienda, trabaja con los dimensionamientos sugeridos en los cálculos.

Tabla 7. Temperaturas medidas

Número de Prueba	Punto	Tiempo	Temperatura °C
1	Hornilla	15 min	100 °
	Paila	15 min 20 s	23.6 °
	Masa	15 min 40 s	23 °
2	Hornilla	30 min	105.2 °
	Paila	30 min 20 s	34 °
	Masa	30 min 40 s	31.1 °
3	Hornilla	45 min	105.5 °
	Paila	45 min 20 s	35.1 °
	Masa	45 min 40 s	33 °
4	Hornilla	60 min	108 °
	Paila	60 min 20 s	47 °
	Masa	60 min 40 s	35.8 °
5	Hornilla	75 min	111.1 °
	Paila	75 min 20 s	49 °
	Masa	75 min 40 s	34.7 °
6	Hornilla	90 min	122.6 °
	Paila	90 min 20 s	57.4 °
	Masa	90 min 40 s	40 °
7	Hornilla	105 min	127.4 °
	Paila	105 min 20 s	62.4 °
	Masa	105 min 40 s	42 °
8	Hornilla	120 min	135.7 °
	Paila	120 min 20 s	74.6 °
	Masa	120 min 40 s	44.1 °
9	Hornilla	135 min	138.3 °
	Paila	135 min 20 s	76.3 °
	Masa	135 min 40 s	44 °
10	Hornilla	150 min	150 °
	Paila	150 min 20 s	108.5 °
	Masa	150 min 40 s	52.3 °
11	Hornilla	165 min	159 °
	Paila	165 min 20 s	79.4 °
	Masa	165 min 40 s	46 °
12	Hornilla	180 min	206 °
	Paila	180 min 20 s	91 °
	Masa	180 min 40 s	53 °

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. C. Alvarez Calvache y M. Caicedo Salazar, "Elaboración de un turrón a base de miel de caña (*Saccharum officinarum*)," p. 61, 2018.
- [2] P. Soria y R. Benítez, "Diseño Y Construcción De Una Mezcladora Industrial Para La Elaboración De Vino De Frutas Con Capacidad De 2000 Litros," *Epn*, pp. 1–126, 2011. [En línea]. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2754/1/CD-3418.pdf>
- [3] M. G. Murillo M., "Universidad Técnica de Cotopaxi ," *Sistema Biodigestor*, 2019. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- [4] A. García, "Diseño de una máquina mezcladora de alimentos con diferentes frecuencias. destinada al gremio de pequeños productores de animales en el recinto san luis, del cantón mocache 2015," 2016.
- [5] T. Geldres Marchena, J. León Ulloa, A. Florián Santillán, y E. Aguirre Alvarado, "Diseño de mezcladora automatizada para mejorar la productividad y la calidad del producto Engorde Hermelinda en la empresa Nutriaves S.A.C." Ph.D. dissertation, 2020.
- [6] R. D. Wayland Valver y E. A. Aguire Alvarado, "Mezclador de bebidas semi-automático para la preparación de cocteles (Piña colada y Margarita)," Ph.D. dissertation, 2020.
- [7] B. Erick y A. Aguirre, "diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos zorel," Ph.D. dissertation, 2020.
- [8] C. Shen, "chung shen food machinery co., ltd." [En línea]. Disponible: <https://www.csfmtw.com.tw/specific-purpose-food-machine/candy-machine.html>
- [9] M. Longze, "Longze Machinery heating and cooking mixer." [En línea]. Disponible: <https://zclongze.com/m/view.php?aid=25>
- [10] I. FLAMIC, "Star mix bakery ad pastry equipment." [En línea]. Disponible: <https://www.starmix.it/pl20cnh-628>

- [11] U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, "Code of Federal Regulations - Title 21: Food and Drugs, Parts 170 to 199," 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title21-vol3/pdf/CFR-2012-title21-vol3.pdf>
- [12] INEN 3039, "Servicios De Restauración. Buenas Prácticas De Manufactura." *Inen 2015*, pp. 1–17, 2015.
- [13] INEN, "Instituto ecuatoriano de normalización."
- [14] RTE INEN 131, "Modificatoria 1 Procesamientos De Alimentos "," no. 60, p. 180, 2014.
- [15] Servicio Ecuatoriano de Normalización, "Maquinaria Para Procesado De Alimentos. Conceptos Básicos. Parte 2: Requisitos De Higiene," 2017.
- [16] I. P. Code y C. Ip, "Cei iec 60529," 2005.
- [17] N. T. E. Inen-iso, "EX," 2014.
- [18] M. C. Potter.
- [19] U. M. D. E. C. D. E. Los, *El libro del huevo*, Instituto de Estudios del Huevo, Ed. Artes Gráficas G3, S.A.
- [20] R. Budinass, *Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley*, 2020.
- [21] D. I. BROTO TERMIC, "Resistencia," p. 140, 2021.
- [22] "Standard compact drive ms300 series automation for a changing world."
- [23] TMCON, "V5.02 version manual."
- [24] EL UNIVERSO, "Tarifa del servicio eléctrico se mantendrá en 9,2 centavos de dólar por kilovatio hora," *el universo*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/tarifa-del-servicio-electrico-se-mantendra-en-92-centavos-por-kilovatio-hora-nota/>

Anexo A: Propiedades del Acero inoxidable 304



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300	
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno
TIPO AISI			304	316
DESIGNACIÓN	TIPO AISI			
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10.5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm ³)		7.9	7.95 - 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)		193,000	193,000
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)		500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)		15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 ⁶ C ⁻¹)		16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)		1398/1454	1371/1398
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)		0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm ²)		520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm ²)		210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A ₅) MIN (%)		≥ 45	
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm ²)		160 / 180	160 / 180
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
		LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ ₁ /10 ³ /t (N/mm ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)		ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)		1200 / 925	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%
	EMBTUCIÓN		MUY BUENA	BUENA

* Son aceptables tolerancias de un 1%

Figura 1. Ficha Técnica Acero Inoxidable

Anexo C: Cotización Plancha de Bronce



IVAN BOHMAN C.A.
 KM 6.5 VÍA DAULE LADO DERECHO S/N KM 6.5 VÍA
 DAULE LADO DERECHO S/N
 Ecuador GUAYAS Guayaquil 090601

Dirección de facturación:

IVAN BOHMAN C.A.
 KM 6.5 VÍA DAULE LADO DERECHO S/N KM 6.5 VÍA
 DAULE LADO DERECHO S/N
 Ecuador GUAYAS Guayaquil 090601

☎ +593 4395 1777

Dirección de Entrega:

IVAN BOHMAN C.A., KM 6.1/2 VIA DAULE
 KM 6.1/2 VIA DAULE
 Ecuador GUAYAS GUAYAS (EC)

☎ 123456

IVAN BOHMAN C.A.

KM 6.5 VÍA DAULE LADO DERECHO S/N KM
 6.5 VÍA DAULE LADO DERECHO S/N
 Ecuador GUAYAS Guayaquil 090601

Identificación: 0990320810001

Presupuesto # PT-2023-22780

Fecha de presupuesto: 05/09/2023
Comercial: John Luna

Descripción	Almacén	Second.		Precio			Importe
		Qty	Cantidad	unitario	Desc.%	Impuestos	
[05 63 3-SAE 40 312 X 22 MM.] BRONCE SAE 40 / FOSFÓRICO (PLATINA) (312 X 22 MM) Número de Piezas: 1 Longitud (mm): 2000	MATRIZ GYE	2.000,0000 mm-0.062-	124,0000 KG	27,220000	22,0000	IVA 12%	\$ 2.632,72
Subtotal							\$ 2.632,72
I.V.A. 12%							\$ 315,93
Total							\$ 2.948,65

Política Devolución: Se aceptará devoluciones o reclamos que sean responsabilidad de BOHMAN en un plazo (desde la recepción de la mercadería) de 2 días hábiles para commodities y 5 para el resto del portafolio. La mercadería devuelta debe encontrarse en las mismas condiciones que fue entregada.

Plazo de pago: 30 días

Teléfono: +593 4395 1777 Correo electrónico: factura.electronica@bohman.com.ec

Web: <https://www.bohman.com.ec> Identificación: 0990320810001

Página: 1 / 1

Figura 1. Plancha de bronce

Anexo C: Cotización plancha de AISI 304

	FEHIERRO S.A. RUC: 0990626014001	Fecha: 6/9/2023 10:36 Usuario: asistUJO																																																
Dir. Matriz: KM 7.1/2 VIA DAULE Dir. Sucursal: Av. Maldonado 1448 y Gomez de la Torre	Teléfono: Teléfono: 22611462																																																	
Pedido-Cotización N° 007-003-000051666																																																		
Fecha: 6/9/2023 10:36 Ciudad: GUAYAQUIL Vendedor: Ventas Quito1	Establecimiento: QUITO - FEH Dirección: GONZALO MARTIN 676 Y AV. ANA PAREDES DE ALFA Teléfono: 2641598 Forma de Pago: Contado																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Sku</th> <th style="width: 40%;">Descripción</th> <th style="width: 5%;">UMP</th> <th style="width: 5%;">Cant.</th> <th style="width: 5%;">UMS</th> <th style="width: 5%;">Cant.S</th> <th style="width: 10%;">P. Unit.</th> <th style="width: 10%;">SubTotal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLPL00010256</td> <td>PLANCHA A/I OPACA 304 2B C/PVC 1.22 X 2.44 X 2 MM</td> <td>UND</td> <td>1.00</td> <td>UND</td> <td>1.00</td> <td>145.31</td> <td>145.31</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: right;">SubTotal</td> <td>145.31</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: right;">Base 12% IVA</td> <td>145.31</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: right;">Imp. 12% IVA</td> <td>17.44</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: right;">Total</td> <td>162.74</td> </tr> </tbody> </table>	Sku	Descripción	UMP	Cant.	UMS	Cant.S	P. Unit.	SubTotal	PLPL00010256	PLANCHA A/I OPACA 304 2B C/PVC 1.22 X 2.44 X 2 MM	UND	1.00	UND	1.00	145.31	145.31	SubTotal							145.31	Base 12% IVA							145.31	Imp. 12% IVA							17.44	Total							162.74		
Sku	Descripción	UMP	Cant.	UMS	Cant.S	P. Unit.	SubTotal																																											
PLPL00010256	PLANCHA A/I OPACA 304 2B C/PVC 1.22 X 2.44 X 2 MM	UND	1.00	UND	1.00	145.31	145.31																																											
SubTotal							145.31																																											
Base 12% IVA							145.31																																											
Imp. 12% IVA							17.44																																											
Total							162.74																																											
Ventas Quito1																																																		

Figura 1. Plancha de bronce

Anexo D: Catálogo Dipac para tubo estructural rectangular



DIPAC[®]
PRODUCTOS DE ACERO

RECTANGULAR

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 12mm x 25mm a 40mm x 80mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA		EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm	I cm4	W cm3	i cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

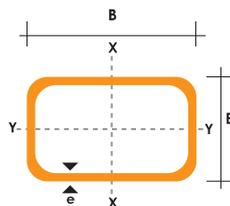


Figura 1. Tubo estructural rectangular

Anexo E: Catálogo Dipac para tubo estructural cuadrado



TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
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
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

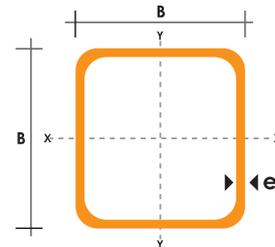


Figura 1. Tubo estructural cuadrado

Anexo F: Catálogo Motor Trifásico 0.5 Hp

Motores | Automatización | Energía | Transmisión & Distribución | Pinturas

W22

Motor Eléctrico Trifásico

Catálogo Técnico
Mercado
Latinoamericano

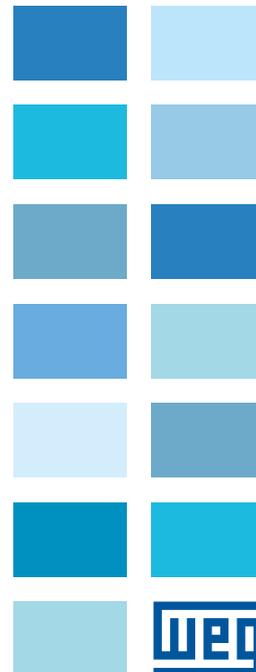
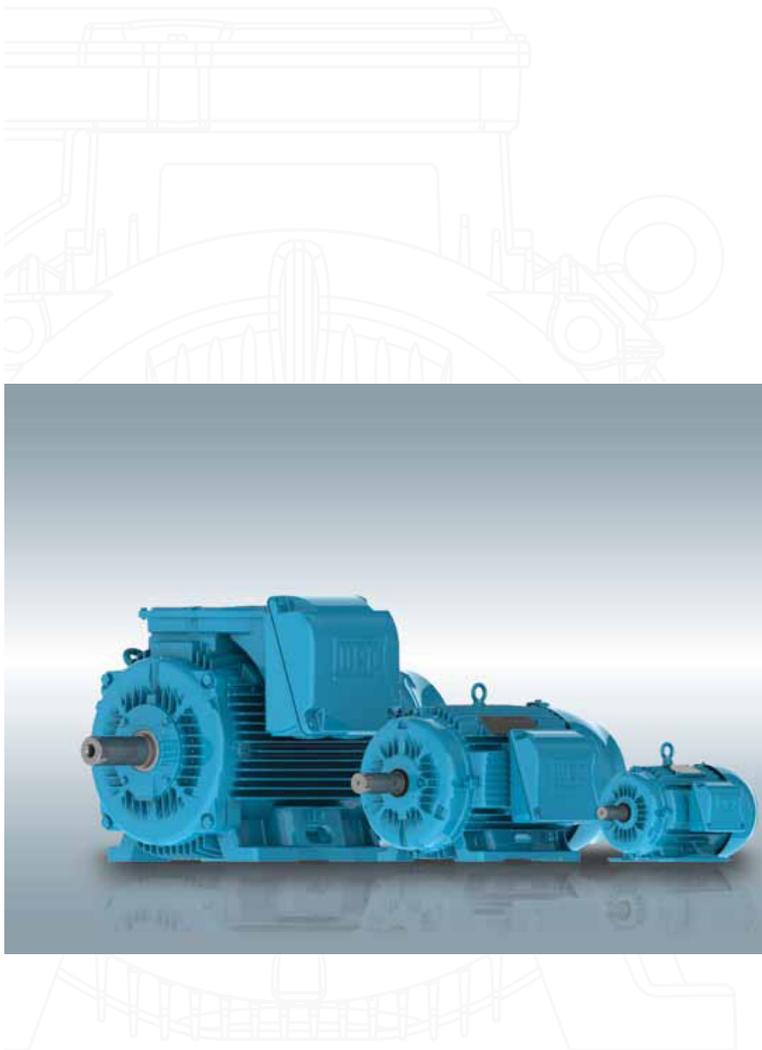


Figura 1. Catálogo Motor WEG