



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE
MOLIENDA PARA CAFÉ DE UNA CAPACIDAD DE HASTA 12
KILOGRAMOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: JHON JAVIER BARAHONA BORRERO

TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA

Quito – Ecuador

2025

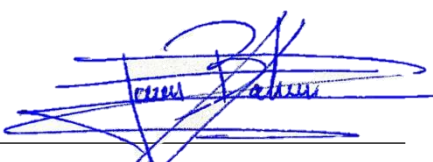
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jhon Javier Barahona Borrero con documento de identificación N°1725132383; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero de 2025

Atentamente,



Jhon Javier Barahona Borrero
1725132383

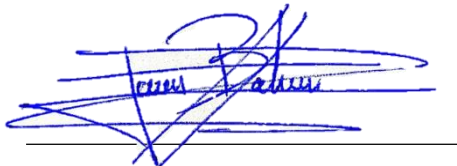
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

Yo, Jhon Javier Barahona Borrero con documento de identificación N°1725132383 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Dispositivo Tecnológico: “Diseño y construcción de un sistema automatizado de molienda para café de una capacidad de hasta 12 kilogramos”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero de 2025

Atentamente,



Jhon Javier Barahona Borrero

1725132383

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N°1710597269 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE MOLIENDA PARA CAFÉ DE UNA CAPACIDAD DE HASTA 12 KILOGRAMOS, realizado por Jhon Javier Barahona Borrero con documento de identificación N°1725132383, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero de 2025

Atentamente,



Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza, MSc

1710597269

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios ante todo por la sabiduría y fortaleza que me ha brindado, a mi madre Georgina Marisol Borrero Velez que de manera incondicional ha estado siempre a mi lado apoyándome en todo y siempre confiando en mí, a mi hermano Marco Vinicio Barahona Borrero por esos consejos de vida que me han ayudado a superar muchas dificultades, a mis abuelos Rosa Vivar y Carlos Barahona por el apoyo incondicional que me han brindado estos últimos años, a mi querida tía Rosa Barahona que por más complicadas que se hayan tornado las cosas siempre me ha estado apoyando. Por último, agradezco a mis primos, amigos y compañeros que a pesar de las adversidades sé que cuento con ellos.

Jhon Javier Barahona Borrero

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Georgina Marisol Borrero Velez y a mi padre Carlos Vinicio Barahona Vivar que a pesar de que ya no está conmigo en este plano terrenal sé que me está viendo y quiero que se sienta orgulloso de todo lo que he logrado en su ausencia, este título va para ti viejito gracias por todas las enseñanzas y espero lograr cumplir todas tus expectativas gracias por todo.

A toda mi familia que siempre ha estado a la expectativa en especial a mis primos que me han ayudado con ese apoyo emocional para seguir adelante y nunca rendirme de todo corazón gracias a todos siempre los llevare en mi corazón.

Atentamente:

Jhon Javier Barahona Borrero

ÍNDICE

ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
OBJETO DE ESTUDIO	4
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
Hipótesis del proyecto	5
Alcance del proyecto	5
CAPÍTULO 1	6
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	6
1.1. Introducción	6
1.2. Marco teórico del proyecto	6
1.2.1. Origen del café	6
1.2.2. La introducción del café en América	6
1.2.3. Productividad del café	7
1.2.4. Procesamiento del café	7
1.2.5. Visión general en la industria cafetera en Ecuador	9
1.2.6. Tipos de molinos	10
1.3. Diseño del proyecto	13
1.4. Aspectos teóricos fundamentales	14
1.4.1. Motor de corriente continua	14
1.4.2. Motor monofásico	15
1.4.3. Motor trifásico	15
1.4.4. Motor reductor	16
1.4.5. Acero Inoxidable 304 y 304L	16

1.4.6. Acero ASTM A36	17
1.4.7. Galga Extensiométrica	18
1.4.8. Microcontrolador	18
1.4.9. Fusible	19
1.4.10. Botones Pulsadores y Lumitorres.....	19
CAPÍTULO 2.....	20
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
2.1. Introducción	20
2.2. Fundamentación de la investigación.....	20
2.3. Variables por controlar.....	21
2.4. Análisis de alternativas	22
2.4.1. Tablas comparativas para la Selección de alternativas	22
2.5. Técnicas e Instrumentación	25
2.5.1. Sensores de peso.....	25
2.5.2. Controlador	25
2.5.3. Variador de frecuencia.....	26
2.5.4. Actuador	29
2.5.5. Sistemas de control y software	29
2.5.6. Motor a pasos.....	30
2.6. Formulaciones.....	33
2.6.1. Volumen de los contenedores (Tolva).....	33
2.6.2. Selección de los pernos.....	35
2.6.3. Selección de Soldadura	36
CAPÍTULO 3.....	38
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	38
3.1. Introducción	38
3.2. Descripción de la situación actual.....	38
3.3. Cálculos y Selección.....	39
3.3.1. Cálculo del volumen de los contenedores (Tolva)	39
3.3.2. Cálculo de la potencia del motor	42
3.3.3. Cálculo para el eje, factor seguridad	44
3.3.4. Selección de pernos	45
3.3.5. Cálculo de unión soldada	50
3.3.6. Cálculos y selección elementos electrónicos	51

3.3.7. <i>Diseño electrónico</i>	52
3.4. Simulaciones del proceso	58
3.4.1. <i>Simulación del eje</i>	58
3.4.2. <i>Simulación de elementos de control</i>	60
3.5. Construcción de la máquina	62
CAPÍTULO 4	70
ANÁLISIS ECONÓMICO	70
4.1. Introducción	70
4.2. Comprobación de la hipótesis	70
4.3. Comprobación de Resultados	71
4.4. Análisis de costos en la implementación del proyecto	73
4.4.1. <i>Costos directos</i>	73
4.4.2. <i>Costos indirectos</i>	75
4.4.3. <i>Costo total</i>	75
4.5. Análisis económico	76
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS	80
ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía de un grano de café [13].	9
Figura 2. Promedio de composición química de granos de café [14].	10
Figura 3. Molino de rodillos para granos [15].	10
Figura 4. Molino de discos [16].	11
Figura 5. Molino de martillos [18].	12
Figura 6. Molino de Tambor [19].	12
Figura 7. Motor CC [20].	14
Figura 8. Motor monofásico [21].	15
Figura 9. Motor trifásico [22].	15
Figura 10. Motor Reductor [23].	16
Figura 11. Acero inoxidable [24].	16
Figura 12. Acero estructural ASTM A36 [25].	17
Figura 13. Galga Extensiométrica metálica [26].	18
Figura 14. Arduino MEGA2560 [27].	19
Figura 15. Fusible eléctrico [28].	19
Figura 16. Cuatro Operadores Comunes [29].	19
Figura 17. Diagrama de Ishikawa.	20
Figura 18. Galga extensiométrica convencional [30].	25
Figura 19. Controlador Arduino Mega2560 [31].	26
Figura 20. Variador de frecuencia Delta [33].	26
Figura 21. Actuador Motor Trifásico [22].	29
Figura 22. Sistema de control Arduino IDE [34].	29
Figura 23. Recipiente de litro graduado de café en grano.	40
Figura 24. Dimensiones para la tolva 1.	40
Figura 25. Dimensiones para la tolva 2.	41
Figura 26. Recipiente de litro graduado para café molido.	41
Figura 27. Limite elástico del eje.	44

Figura 28. Referencia de unión a tensión.....	45
Figura 29. Referencia de unión a cortante.....	46
Figura 30. Propiedades mecánicas de los pernos.	47
Figura 31. Unión soldada para las tolvas.....	50
Figura 32. Unión soldada para el motor y molino.	51
Figura 33. Esquema de fuerza y control del motor trifásico con variador de frecuencia.	54
Figura 34. Esquema de fuerza y control del motor a pasos/compuerta de dosificación.....	55
Figura 35. Diagrama de flujo de la molienda del café.....	56
Figura 36. Diagrama de flujo de dosificación del café.....	57
Figura 37. Análisis del esfuerzo de Von Mises aplicado al eje.....	58
Figura 38. Análisis de deformaciones en el eje.....	59
Figura 39. Análisis del Factor de Seguridad del eje sometido a fuerzas.....	59
Figura 40. Esquema de potencia controlado por Arduino mega 2560.....	60
Figura 41. Esquema de conexiones.....	61
Figura 42. Diseño final del molino eléctrico.	62
Figura 43. Corte y dimensionamiento de la estructura.	63
Figura 44. soldadura de la estructura.....	63
Figura 45. Estructura final.....	63
Figura 46. Corte y dimensionamiento de las tolvas.	64
Figura 47. Remachado de las tolvas.....	64
Figura 48. Pulido de las tolvas.	64
Figura 49. Tolvas terminadas.	65
Figura 50. Estructura con el molino y motor.	65
Figura 51. Ensamble final del molino.	65
Figura 52. Implementación del sistema en protoboard.....	66
Figura 53. Implementación de la botonería y selector en el cajetín.	66
Figura 54. Conexiones a los botones y leds.....	67
Figura 55. Conexiones de comunicación Variador/Arduino.....	67

Figura 56. Conexión de sensores de peso.....	67
Figura 57. Conexión final del sistema de control.....	68
Figura 58. Implementación final de la caja de control.....	68
Figura 59. Tablero de control.....	69
Figura 60. Programación en Arduino.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de molinos según su tipo y su finura.	13
Tabla 2. Propiedades del acero inoxidable 304 [24].	17
Tabla 3. Propiedades del acero ASTM A36.	18
Tabla 4. Causa y efecto.	21
Tabla 5. Variables independientes.	21
Tabla 6. Variables dependientes.	22
Tabla 7. Calificación y selección de las alternativas de forma cuantitativa.	23
Tabla 8. Tipo de mecanismo.	23
Tabla 9. Tipo de Pesaje.	24
Tabla 10. Calificación con ponderación final.	24
Tabla 11. Selección compatible y funcional del variador.	28
Tabla 12. Comparación de costos y funcionalidad con otros variadores.	28
Tabla 13. Especificaciones del motor NEMA 17.	31
Tabla 14. Ventaja de un motor NEMA 17.	31
Tabla 15. Protección eléctrica de componentes principales.	32
Tabla 16. Estado actual del proceso de molienda	38
Tabla 17. Densidad del café en grano [35].	39
Tabla 18. Componentes para determinar la fuerza requerida.	42
Tabla 19. Especificaciones del motor.	43
Tabla 20. Componentes del esquema.	61
Tabla 21. Pesos de calibración.	71
Tabla 22. Coeficiente de variación.	72
Tabla 23. Costos de materiales mecánicos.	73
Tabla 24. Costos de materiales eléctricos y de control.	74
Tabla 25. Costos indirectos.	75
Tabla 26. Costo total.	75
Tabla 27. Costo de producción de 15kg de café molido.	76

Tabla 28. VAN.....	77
Tabla 29. TIR.	77

RESUMEN

Este proyecto aborda el diseño y la construcción de un sistema automatizado de molienda para café, con una capacidad de hasta 12 kilogramos. La problemática se sitúa en la industria cafetalera ecuatoriana, donde la baja inversión y el uso de maquinaria obsoleta afectan significativamente la eficiencia y la calidad del proceso de molienda, lo que a su vez influye en la competitividad de las empresas cafetaleras.

El objetivo general de este proyecto es diseñar y construir un molino automatizado que ofrezca un producto final de café molido y pesado mediante un sistema de control que optimice el tiempo de producción. Para lograr este objetivo, se propusieron objetivos específicos que incluyen el diseño detallado del molino, la construcción de un equipo mecatrónico, y la realización de pruebas de campo para verificar su correcto funcionamiento.

La metodología se dividió en varias fases, desde el análisis de necesidades y objetivos hasta la documentación final. Se destacan las etapas de diseño conceptual y detallado, donde se seleccionaron materiales y se crearon planos técnicos. La fase de construcción incluyó la fabricación de piezas y la adquisición de componentes, seguida del ensamblaje del molino.

Las pruebas de rendimiento, calidad, durabilidad y seguridad fueron fundamentales para evaluar la efectividad del sistema automatizado. Además, se estableció un plan de mantenimiento y soporte para garantizar un funcionamiento óptimo a lo largo de su vida útil.

Palabras claves: café, peso, molino, automatización, maquinaria, capacidad, diseño, molienda.

ABSTRACT

This project addresses the design and construction of an automated coffee grinding system, with a capacity of up to 12 kilograms. The problem is located in the Ecuadorian coffee industry, where low investment and the use of obsolete machinery significantly affect the efficiency and quality of the grinding process, which in turn influences the competitiveness of coffee companies.

The general objective of this project is to design and build an automated mill that offers a final product of ground and weighed coffee through a control system that optimizes production time. To achieve this objective, specific objectives were proposed that include the detailed design of the mill, the construction of mechatronic equipment and the performance of field tests to verify its correct operation.

The methodology was divided into several phases, from the analysis of needs and objectives to the final documentation. The conceptual and detailed design stages are highlighted, where materials are selected and technical plans are created. The construction phase included parts manufacturing and component procurement, followed by mill assembly.

Performance, quality, durability and safety tests were essential to evaluate the effectiveness of the automated system. In addition, a maintenance and support plan was initiated to ensure optimal operation throughout its useful life.

Keywords: coffee, weight, mill, automation, machinery, capacity, design, grinding.

INTRODUCCIÓN

El café es considerado por muchos una bebida muy valorada y consumida a nivel global, con un origen que se remonta a Abisinia, en la actual Etiopía. A lo largo de la historia, su cultivo y consumo se han expandido por diversas regiones y sociedades, integrándose en la rutina diaria de millones de personas. En Ecuador, un país con una industria cafetera en desarrollo, la producción y comercialización del café representan un pilar clave tanto para la economía como para la identidad cultural.

La industria cafetera ecuatoriana se ha destacado por su diversidad geográfica, ya que diversas regiones del país, como Pichincha, El Oro, Carchi, Zamora Chinchipe, Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja, Orellana y Sucumbíos, se dedican a la producción de café. Sin embargo, a pesar de su potencial, muchas empresas cafeteras se enfrentan a desafíos relacionados con la eficiencia y la modernización de sus procesos de producción.

En este contexto, el presente trabajo de titulación se enfoca en abordar un problema importante dentro de la industria cafetera: la optimización de los procesos de molienda del café. La molienda es un paso crucial en la producción de café, donde los granos tostados se trituran para obtener la granulometría adecuada para preparar la bebida. La consistencia en el tamaño de la molienda influye directamente en el sabor y la calidad final del café.[1].

Actualmente, muchas empresas cafeteras en Ecuador y en todo el mundo dependen de maquinaria anticuada y procesos manuales en la molienda de café, lo que a menudo resulta en pérdidas de producción y dificultades para mantener una calidad consistente. Esta situación exige la implementación de tecnologías modernas y soluciones innovadoras para mejorar la precisión del proceso y su eficiencia en la molienda.

El principal objetivo en el proyecto es diseñar y construir un sistema automatizado de molienda para café con una capacidad de hasta 12 kilogramos. Este sistema busca proporcionar a las empresas cafeteras una herramienta que no solo optimice los tiempos de producción, sino que también permita una molienda precisa y uniforme en su peso, lo que a su vez puede mejorar la calidad y el sabor del café.

La solución propuesta involucra la implementación de tecnología de vanguardia, incluyendo un molino eléctrico, sensores de presión y un sistema de control. La máquina resultante será

autónoma y capaz de medir la cantidad de café en grano y molido en tiempo real. Además, se permitirá la regulación manual del grosor de la molienda para adaptarse a las preferencias individuales.

A lo largo del proyecto, se detallará el proceso de diseño y construcción de este sistema automatizado de molienda, incluyendo las etapas de análisis, diseño, construcción y pruebas. Se llevarán a cabo pruebas de rendimiento, calidad de molienda, durabilidad y seguridad para garantizar que el sistema cumpla con los estándares necesarios.

Este estudio tiene como objetivo aportar al desarrollo tecnológico y la optimización de los procesos en la industria cafetera de Ecuador, brindando a las empresas una herramienta eficiente y precisa para la molienda de café. Además, se espera que esta investigación sirva como un ejemplo de cómo la automatización y la tecnología pueden impulsar la eficiencia y la calidad en otros sectores de la industria alimentaria y la manufactura.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La venta y comercialización de café en Ecuador es muy amplia teniendo en cuenta que existen 11 provincias que se destacan por ser productoras de café como lo son: Pichincha, El Oro, Carchi, Zamora Chinchipe, Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja, Orellana y Sucumbíos, entendiendo la situación que atraviesan actualmente varias industrias en el país, en la que se logra notar que la inversión es muy baja y debido a esto la producción de las industrias se ve afectado teniendo maquinaria anticuada que en muchas ocasiones representan grandes pérdidas debido a su ineficacia en la realización de un proceso, gracias a esto las industrias se ven obligados a mejorar estas estadísticas realizando inversiones para obtener procesos modernos que den un mejor rendimiento y eficiencia a la producción en general [1].

Según la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE), la superficie cultivada de café en Ecuador se distribuye de la siguiente manera: 112,000 ha en la región Costa, 62,000 ha en la Sierra, 55,000 ha en la región Amazónica y 1,000 ha en Galápagos, por lo tanto, es necesario recursos financieros para procurar a los pequeños productores la aplicación de tecnologías modernas para reducción de costos de calidad y reducción de pérdidas de producción. [2].

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La pregunta de investigación clave que se plantea: ¿Es viable desarrollar una propuesta tecnológica que, mediante la inversión en maquinaria y sistemas modernos, pueda optimizar los procesos de producción de café en Ecuador, reduciendo costos, mejorando la calidad del producto y aumentando la competitividad de la industria a nivel nacional?

OBJETO DE ESTUDIO

Este proyecto está orientado al diseño y desarrollo de un molino de café con automatización integrada, priorizando el sistema de control exacto del pesaje del café molido. El proyecto busca integrar tecnologías de automatización y control de pesaje para mejorar la eficiencia y calidad del producto final, el proyecto está pensado para ayudar en la producción de una tienda de abarrotes, en la búsqueda de la facilidad y precisión de operación.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los comerciantes que se benefician de esta actividad necesitan reducir procesos para obtener una producción prolongada sin la necesidad de depender de otro tipo de maquinaria. Para llevarlo a cabo es fundamental analizar alternativas de diseño para la máquina logrando el resultado requerido [3].

Esta máquina busca una mejora en la optimización de los tiempos de producción que se puede encontrar en varias empresas que se dedican a la molienda de café ya que no cuentan con sistemas automatizados que sean dirigidos exclusivamente al peso de la materia prima como lo es el café en sus dos presentaciones en grano y molido, se tendrá en cuenta el uso de tecnología de vanguardia para su realización.

La principal ventaja de un molino automatizado para café con balanzas incluidas es la precisión y eficiencia en la medición de la cantidad de café molido. Esto permite al usuario controlar y ajustar la cantidad de café utilizada en cada preparación, lo que puede mejorar la calidad y el sabor del café. Además, el proceso de molienda automatizado puede ahorrar tiempo y esfuerzo para el usuario. Esta máquina está ideada para buscar la simplificación de procesos como lo son la molienda del café, el peso del café en grano y a su vez el peso del café procesado (molido), obteniendo una reducción de costos y tiempo de producción haciendo que la máquina sea autónoma ya que es creada a partir del funcionamiento de diferentes equipos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema automatizado de molienda para café de una capacidad de hasta 12 kilogramos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un molino de café que entregue un producto final molido y pesado mediante un sistema de control para optimizar el tiempo de producción.
- Construir un equipo mecatrónico para café teniendo en cuenta los parámetros necesarios para el diseño.
- Realizar pruebas de campo para verificar el funcionamiento correcto del mecanismo.

Hipótesis del proyecto

La implementación de sistemas mecatrónicos en un molino de café, con énfasis en el control del pesaje, resultará en una optimización sustancial del proceso de producción. Se espera que la sincronización precisa de actuadores y sensores de peso conduzca a una mayor eficiencia operativa y a una reducción significativa de las variaciones en la cantidad de café procesado, tanto en estado de grano como molido. ¿Esta mejora técnica se traducirá en una producción más homogénea y de calidad superior en comparación con las prácticas convencionales de molienda y pesaje?

Alcance del proyecto

El proyecto se enfoca en diseñar y construir un molino automatizado para el procesamiento del café, priorizando el control preciso del pesaje tanto del café en grano como del café molido. Se espera desarrollar un prototipo funcional que integre tecnologías mecatrónicas para garantizar la precisión y eficiencia del pesaje, utilizando un enfoque de diseño iterativo y pruebas experimentales. Se evaluará el desempeño del molino automatizado mediante pruebas de precisión del pesaje, eficiencia operativa y calidad del producto final, con el objetivo de proporcionar un análisis detallado de sus capacidades. Finalmente, se documentará exhaustivamente todo el proceso de diseño, construcción y pruebas, junto con recomendaciones para posibles mejoras y aplicaciones industriales futuras.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

1.1. Introducción

La presente sección aborda los principios teóricos esenciales para el desarrollo de un molino de café automatizado. Se analizarán los conceptos fundamentales, el proceso de molienda, los factores determinantes y su evolución histórica. Además, se evaluarán diversas alternativas de diseño e implementación, considerando aspectos técnicos relacionados con materiales, diseño y construcción.

1.2. Marco teórico del proyecto

En el comienzo del planteamiento de este proyecto, se definen conceptos necesarios como el su origen, que es, como se realiza la molienda del café y la existencia de maquinaria similar a la propuesta en este proyecto.

1.2.1. *Origen del café*

Café, una bebida conocida por sus propiedades estimulantes y su aroma característico, tiene su origen en la región de Abisinia (actualmente Etiopía). Su verdadera procedencia a menudo genera confusión debido a diversas leyendas que sitúan su cultivo y consumo en Arabia. Uno de los textos más antiguos que hace referencia al café es *The Success of Coffee* que lo escribió Abu-Bek (originario de La Meca) a principios del siglo XV y traducido al francés en 1699 por Antoine de Gaillard. Los pioneros en identificar los beneficios y las oportunidades económicas del café fueron los árabes, desarrollando el proceso completo de cultivo y manteniendo este conocimiento como un secreto, con el fin de evitar la exportación del producto [2].

1.2.2. *La introducción del café en América*

Lejos de Sudamérica, el café tiene su origen en África, específicamente en lo que actualmente es Etiopía. Desde allí, el grano se trasladó a Europa y, a través de los europeos que emprendieron el viaje hacia el continente americano, el café llegó al otro lado del Atlántico. Fue el rey Luis XIV quien envió granos para ser cultivados en Martinica, desde donde se expandió hacia el continente americano. Debido a la Revolución Haitiana, muchos europeos,

tanto nativos como emigrantes, se refugiaron en Brasil, llevando consigo el cultivo del café, lo que con el tiempo convirtió a este país en el mayor productor mundial [4].

1.2.3. Productividad del café

El café es uno de los productos más relevantes en el comercio global, habiendo experimentado en las últimas seis décadas ciclos de crecimiento y declive, con una volatilidad creciente y fluctuaciones pronunciadas en periodos cortos. Entre 2001 y 2004, el mercado del café enfrentó su crisis más severa, con precios que llegaron a alcanzar los niveles más bajos en treinta años, situándose en USD 57.6 por quintal. En 2012, el precio promedio se incrementó a USD 187.6, según los datos reportados por el Banco Mundial y la Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFE) (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP) [5].

En 2011, el precio del café Arábica superó los USD 300,00 por quintal, mientras que la variedad robusta se cotizaba por encima de los USD 92,00 (Banco Mundial, s.f.). En 2016, los precios de ambos tipos de café sufrieron una notable disminución, cayendo el Arábica a 121,00 dólares el quintal y el Robusta a 64,00 dólares, lo que representó una caída del 26% al 59,7% en el caso del Arábica, y una reducción del 30,4. % para Robusta. Además, la productividad se redujo a sólo cinco quintales por hectárea, lo que se atribuye a la avanzada edad de los cafetales, que oscilan entre 50 y 70 años, lo que impacta negativamente en el rendimiento de los cultivos [6].

1.2.4. Procesamiento del café

El procesamiento del café engloba todas las etapas y procedimientos aplicados a los granos de café una vez que han sido cosechados. El objetivo principal del procesamiento del café es extraer la semilla del fruto y prepararla para su comercialización y consumo [7].

Hay varios métodos de procesamiento del café, pero el más común es el método seco, también conocido como método natural. En este método, se dejan los granos de café en el campo para que se sequen al sol. Una vez que están secos, se retiran las capas externas del fruto y se separan los granos [8].

Etapas de producción del café. - El proceso del café involucra varias etapas desde que se cosecha la fruta hasta que se obtiene el grano tostado y molido que se utiliza para preparar una taza de café [9].

Estas etapas incluyen:

Cultivo. - En esta etapa, la producción del café es cultivar las plantas de café. Estas plantas se cultivan en regiones con climas cálidos y húmedos, como América Central y Sudamérica, África y Asia. Los granos de café se siembran en pequeñas parcelas y, una vez germinados, se plantan en filas para facilitar su cuidado y recolección [10].

Recolección. - Una vez que las plantas de café han madurado, se recolectan los granos. Esto se puede hacer de forma manual o mecánica, dependiendo del tamaño de la finca y de la cantidad de café que se esté produciendo. La recolección manual implica recoger los granos uno a uno, mientras que la recolección mecánica utiliza máquinas para recoger los granos en masa [10].

Despulpado. - Luego de cosechar, se somete a las cerezas de café a un proceso de despulpado para separar las semillas (granos de café) de la pulpa que las recubre [11].

Fermentación. - A continuación, los granos de café se someten a un proceso de fermentación para eliminar el resto de pulpa y cualquier otro material que aún se encuentre adherido a ellos. La fermentación también ayuda a desarrollar el sabor característico del café [11].

Lavado. - Luego de la fermentación, los granos de café se lavan para eliminar cualquier residuo y se dejan en remojo para suavizarlos y prepararlos para el siguiente paso del proceso [11].

Secado. - Una vez que los granos de café han sido lavados y remojados, se procede a su secado para eliminar el exceso de humedad. Esto se puede hacer al sol o mediante secadoras especializadas [11].

Tostado. - Se tuestan los granos de café a altas temperaturas para darle el aroma y sabor característicos. La intensidad del tostado determina el sabor final del café, y puede variar desde claro hasta oscuro [11].

Envasado. - En esta etapa, se empaca el café tostado en bolsas o latas para su distribución y venta. Es importante asegurarse de que el café se mantenga fresco y protegido durante el transporte y el almacenamiento [11].

1.2.5. Visión general en la industria cafetera en Ecuador

En Ecuador, la industria del café desempeña un papel crucial en la economía. En la temporada 2019/2020, se registró una producción de aproximadamente 500,000 sacos de 60 kg, lo que indica una ligera baja en comparación con la cosecha del año 2018/2019.[12].

En cuanto a las importaciones y exportaciones, las cifras de Ecuador son mucho más relevantes. Entre octubre de 2020 y febrero de 2021, En Ecuador se exportó aproximadamente 198,000 sacos de 60 kg de café. Durante la cosecha 2018/2019, el país reexportó 572,000 sacos de 60 kg de café soluble, con los principales destinos siendo Alemania y Rusia.[12].

En la Figura 1, se puede observar la anatomía del fruto del café en cinco capas: la "Cereza de Café," la "Pulpa" roja que la envuelve, el protector "Pergamino" amarillo, la delgada "Película Plateada" y, finalmente, las valiosas "Almendras," semillas utilizadas para hacer café una vez tostadas y molidas [13].

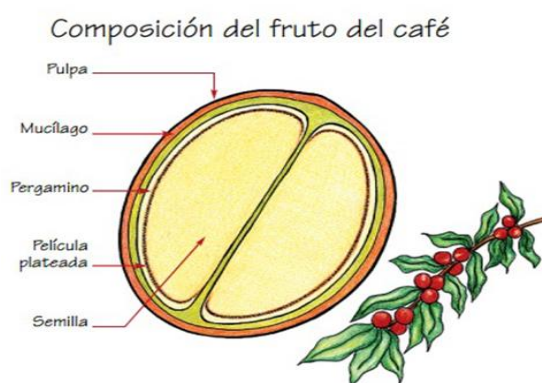


Figura 1. Anatomía de un grano de café [13].

En la Figura 2 se resume la composición química de diferentes variedades de granos de café, antes y después del tostado. Se analizan componentes como fibra, lípidos, proteínas, cafeína, ácidos clorogénicos y cenizas, mostrando variaciones entre las variedades y cambios asociados al tostado. Estos resultados son clave para comprender las diferencias en la calidad y perfil sensorial del café según la variedad y el proceso de producción [14].

Contenido % b. s.	Tipo de grano	Borbón	Caturra	Colombia fruto amarillo	Colombia fruto rojo	Típica	Robusta (cultivos experimentales)
Fibra	almendra	21,75	18,85	18,45	16,69	18,71	15,53
Lípidos	almendra	15,27	13,98	13,07	14,27	13,99	11,42
Proteínas	almendra	13,90	14,79	14,45	13,92	14,50	15,66
Cafeína	almendra	1,15	1,13	1,16	1,19	1,20	2,10
Ácidos clorogénicos	almendra	7,37	6,97	7,55	7,42	6,66	8,08
Cenizas	almendra	3,78	3,39	3,49	3,52	3,43	3,96
Fibra	tostado	Sin dato	21,71	20,96	21,54	21,08	Sin dato
Lípidos	tostado	Sin dato	12,09	11,70	11,18	12,78	Sin dato
Proteínas	tostado	Sin dato	13,80	13,77	13,84	13,96	Sin dato
Cafeína	tostado	Sin dato	1,27	1,28	1,39	1,29	Sin dato
Cenizas	tostado	Sin dato	3,95	3,84	3,88	3,76	Sin dato

Figura 2. Promedio de composición química de granos de café [14].

1.2.6. Tipos de molinos

1.2.6.1. Molino de rodillo.

El principio de funcionamiento de un molino de rodillos se basa en un proceso sencillo. En los equipos de un solo rodillo, está rota cerca de una placa rompedora, sometiendo el material a una combinación de compresión y cizallamiento entre ambas superficies. En los molinos de dos rodillos, estos giran en direcciones opuestas, a velocidades iguales o distintas. Las partículas de la materia prima se comprimen entre los rodillos, se fracturan y caen hacia la parte inferior del equipo., en la Figura 3 se observar un molino de rodillos convencional [15].



Figura 3. Molino de rodillos para granos [15].

1.2.6.2. Molino de discos.

En el molino de discos, el proceso de molienda se realiza entre dos discos abrasivos con superficies rugosas y dentadas. Uno de los discos está estacionario, mientras que la otra gira mediante un motorreductor, generando una acción de cizallamiento que fragmenta el material. El grado de finura del material molido depende del espacio entre los discos. Mediante una rueda de ajuste es posible modificar la posición del disco fijo, lo que a su vez cambia el ancho del espacio entre ambos discos. La molienda se logra mediante presión y fricción. Los dientes dispuestos progresivamente permiten primero fragmentar el material y luego impulsarlo mediante fuerza centrífuga hacia los bordes de los discos, donde se produce una trituración fina, en la Figura 4 se logra apreciar un modelo cotidiano de un molino de discos [17].



Figura 4. Molino de discos [16].

1.2.6.3. Molino de martillos

El mecanismo funciona mediante una serie de martillos rotativos conectados a un eje, que golpean repetidamente el material para desgarrarlo y desintegrarlo. Una vez procesado, el material pasa a través de una criba con perforaciones de tamaño específico, ajustadas según la granulometría deseada. La alimentación se realiza de forma completamente simétrica, lo que garantiza que el producto se distribuya de manera uniforme por toda la cámara, favoreciendo un desgaste equilibrado de los martillos y permitiendo que ambos bordes se usen antes de que sea necesario reemplazarlos., En la Figura 5 se observa un modelo actual de un molino de martillos [18].



Figura 5. Molino de martillos [18].

1.2.6.4. Molino de tambor.

En la Figura 6 se presenta un molino de tambor con un tambor horizontal de molienda que rota alrededor de un eje central. Dentro de este tambor cilíndrico, se encuentran los medios de molienda. El material se pulveriza debido a la interacción de los medios de molienda, que se mueven libremente, generando presión, impacto y cizalladura. Normalmente, se utilizan bolas o cilindros, aunque en ciertas aplicaciones especiales, se pueden emplear barras de acero en molinos que han sido adaptados para tal fin [19].



Figura 6. Molino de Tambor [19].

En la Tabla 1 clasifica molinos según el tamaño de partícula. Para molienda gruesa e intermedia, hay molinos de rodillo y martillo. En la categoría intermedia y fina, se usan molinos de disco de atrición y rodillo. Para tamaños de partícula finos y ultrafinos, se emplean molinos de martillo y bolas. Esta clasificación simplificada facilita la elección del molino según las necesidades de reducción de tamaño, proporcionando una visión rápida de las opciones disponibles.

Tabla 1. Tipos de molinos según su tipo y su finura.

Rango de Reducción de Tamaño	Tipo de Molino	Tipo de Equipo
Grueso e Intermedio	De Rodillo, De Martillo	Molinos de Gruesos
Intermedio y Fino	Disco de Atrición, De Rodillo	Molinos de Finos
Fino y Ultrafino	De Martillo, De Bolas	Molinos de Ultrafinos

1.3. Diseño del proyecto

Tipo de estudio: Se llevará a cabo un estudio experimental para investigar la viabilidad y eficacia de un molino automatizado para el procesamiento del café, con un enfoque en el control del pesaje. Este enfoque experimental permitirá manipular variables clave y establecer relaciones causa-efecto de manera controlada.

Población y muestra: La población objetivo estará constituida por la selección de muestras representativa de estos grupos para participar en la construcción del molino y en las pruebas experimentales.

Variables: La variable independiente será la implementación de tecnologías mecatrónicas en el molino automatizado, mientras que las variables dependientes incluirán la precisión del pesaje, la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

Procedimiento: El estudio seguirá un enfoque de diseño iterativo, comenzando con la identificación de requisitos y la selección de componentes. Luego, se procederá con el diseño detallado del molino, la construcción del prototipo, y las pruebas experimentales para evaluar su desempeño.

Instrumentos de recolección de datos: Se utilizarán sensores de peso, actuadores, sistemas de control y software especializado para recopilar datos sobre la precisión del pesaje, la velocidad de procesamiento y la calidad del producto final durante las pruebas experimentales.

Análisis de datos: Los datos obtenidos se someterán a un análisis estadístico exhaustivo para evaluar el desempeño del molino automatizado en relación con las variables de interés, utilizando técnicas descriptivas e inferenciales adecuadas.

1.4. Aspectos teóricos fundamentales

Es esencial establecer los elementos físicos del proyecto. Se integrarán componentes fundamentales como el sistema de molienda, controles electrónicos, áreas de almacenamiento de granos y estructuras, a continuación, se definen algunos de estos elementos que conforman la máquina.

1.4.1. Motor de corriente continua

En la Figura 7 se muestra un modelo comercial de motor eléctrico de corriente continua, el cual es una máquina diseñada para convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico o movimiento, utilizando principios electromagnéticos. En el estudio del magnetismo, se distinguen dos polos: norte (N) y sur (S), que son las áreas donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. El funcionamiento de un motor depende de las fuerzas de atracción y repulsión entre estos polos. Por esta razón, los motores deben tener polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, mientras que los polos opuestos se atraen, lo que genera el movimiento de rotación [20].



Figura 7. Motor CC [20].

1.4.2. Motor monofásico

En la Figura 8 se presenta la configuración de los motores monofásicos, que se utilizan principalmente en entornos residenciales o comerciales donde no se dispone de corriente alterna trifásica. Equipos como refrigeradores o lavadoras emplean motores monofásicos para su funcionamiento. Este tipo de motor es un dispositivo rotativo que convierte energía eléctrica en energía mecánica. Aunque el par motor de los motores monofásicos tiende a ser inferior al de los motores trifásicos, estos pueden alcanzar potencias de hasta 10 hp y operar con tensiones que llegan hasta los 440V [21].



Figura 8. Motor monofásico [21].

1.4.3. Motor trifásico

Convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso de tres fases de corriente alterna. Se emplean para accionar diversos equipos y se conectan a las instalaciones eléctricas mediante los componentes adecuados. En términos de diseño, existe una amplia variedad de tipos, algunos destinados a aplicaciones específicas. En la Figura 9 se presenta un motor trifásico convencional. [22].



Figura 9. Motor trifásico [22].

1.4.4. Motor reductor

En la Figura 10 se observa el funcionamiento de un motor reductor, opera mediante la combinación de un motor eléctrico con una caja de engranajes. El motor eléctrico realiza la conversión de energía eléctrica a energía mecánica, y esta energía mecánica se transmite a un sistema de reducción de velocidad, compuesto por una caja de engranajes, que disminuye la velocidad angular mientras incrementa el par motor disponible, y esta salida se conecta a una caja de engranajes que reduce la velocidad de giro mientras aumenta el torque. La caja de engranajes utiliza engranajes de diferentes tamaños y números de dientes para lograr esta reducción de velocidad y aumento de fuerza de giro [23].



Figura 10. Motor Reductor [23].

1.4.5. Acero Inoxidable 304 y 304L

En la Figura 11 se observa el acero inoxidable 304 y 304L austenítico, que ofrecen una excelente resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas destacadas. El 304L es una variante de bajo contenido en carbono del 304. La principal ventaja del 304L es que reduce la formación de carburos durante el proceso de soldadura, minimizando así los riesgos de corrosión intergranular [24].



Figura 11. Acero inoxidable [24].

El acero inoxidable 304 tiene varias propiedades mecánicas que se deben tener en cuenta para la realización de la maquina como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del acero inoxidable 304 [24].

Acero inoxidable 304					
Condición	Resistencia a la Tensión (MPa)	Punto de Cedencia (MPa)	% Elongación en 50.8 mm	% Reducción del Área	Dureza brinell
304 Recocido (1070°C) 1" Ø	588.7	248.1	70	80	163
304 Estirado en Frio 1"Ø	707.2	509.7	50	75	210
304 Estirado en frio de alta resistencia	860	655	25	70	275

1.4.6. Acero ASTM A36

En la Figura 12 se observa el acero ASTM A36, este es un acero al carbono utilizado en aplicaciones estructurales para la edificación de puentes y obras de infraestructura, conforme a las especificaciones de las normativas ASTM A36/A36M. Este acero se emplea en la fabricación de estructuras metálicas tanto soldadas como atornilladas en proyectos industriales y civiles, así como en la construcción de puentes. También se utiliza en la creación de elementos y componentes para usos generales dentro del sector de la construcción [25].



Figura 12. Acero estructural ASTM A36 [25].

El acero ASTM A36 tiene varias propiedades que se toman en cuenta para la realización del diseño de la máquina como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades del acero ASTM A36.

Acero ASTM A36					
Dureza Rockwell B	Resistencia a la Tensión (MPa)	Punto de Cedencia (MPa)	% Elongación en 50 mm	% Reducción de Área	Dureza Brinell
70	400 - 550	250	23	70	137

1.4.7. Galga Extensiométrica

Una galga extensiométrica, también conocido como "strain gage" en inglés, es un aparato de medición. universal empleado para la medición electrónica de varias magnitudes mecánicas, tales como pueden ser la presión, la carga, el giro, la deformación, la posición, entre otros. Se conoce como strain o estirpe. esfuerzo a la deformación que sufre un cuerpo a causa de la fuerza ejercida sobre él. [26].

Las galgas extensiométricas son dispositivos que miden deformaciones en objetos al cambiar su forma en la Figura 13 se observa las partes de su composición.

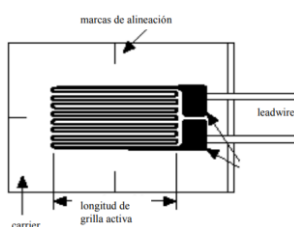


Figura 13. Galga Extensiométrica metálica [26].

1.4.8. Microcontrolador

El Arduino Mega 2560, con microcontrolador ATmega2560, destaca por su amplio pinout con 54 pines digitales (15 PWM) y 16 analógicos, ideal para proyectos que requieren numerosas conexiones. Opera a 16 MHz con voltaje de trabajo de 5V y acepta 7,5 a 12 voltios de entrada. Ofrece 3 puertos serie por hardware y posee una memoria de 256 KB Flash, 8 KB RAM y 4 KB EEPROM, siendo una elección potente y versátil para proyectos de mayor complejidad y así se observa su forma física en la Figura 14 [27].

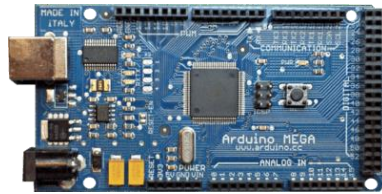


Figura 14. Arduino MEGA2560 [27].

1.4.9. Fusible

Los fusibles son dispositivos de protección eléctrica diseñados para actuar ante corrientes excesivas. Estas alteraciones pueden ser causadas por sobrecargas o cortocircuitos, lo que podría resultar en daños tanto a las personas como a los equipos. Los fusibles eléctricos, que han estado en uso durante mucho tiempo, siguen siendo una solución efectiva y se mantienen ampliamente presentes en instalaciones residenciales, comerciales e industriales, así como en edificios de diversas características. En la

Figura 15 se visualiza los componentes de un fusible eléctrico [28].



Figura 15. Fusible eléctrico [28].

1.4.10. Botones Pulsadores y Lumitorres

El término "botón" lo utilizan para referirse a dos conceptos diferentes. En primer lugar, se refiere a un tipo de componente físico que se activa al presionarlo en un panel. En segundo lugar, también hace alusión a un conjunto más amplio de dispositivos de interacción entre el ser humano y la máquina, como los indicadores luminosos, selectores de interruptores, potenciómetros y botones de presión, que permiten a las personas controlar o interactuar con las máquinas. En la Figura 16 se muestra 4 tipos de operadores comunes [29].



Figura 16. Cuatro Operadores Comunes [29].

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Introducción

En el capítulo se tratará sobre la investigación del molino automatizado para el café, utilizando el diagrama de Ishikawa para analizar las causas del pesaje impreciso. Se definen variables clave como la implementación de tecnologías mecatrónicas y se detallan aspectos como la precisión del pesaje y la calidad del producto final. Se evalúan alternativas de diseño y se describe la instrumentación utilizada, incluyendo sensores de peso y el controlador Arduino Mega2560.

2.2. Fundamentación de la investigación

Para la realización de los fundamentos principales se utilizará dicho diagrama, también se lo conoce como diagrama de espina de pescado o diagrama de Ishikawa, visualiza las causas potenciales que impactan el pesaje del café en un sistema automatizado de molienda.

Estas causas tienen su nivel de dificultad y se basan al efecto principal, así como se observa en la Figura 17.

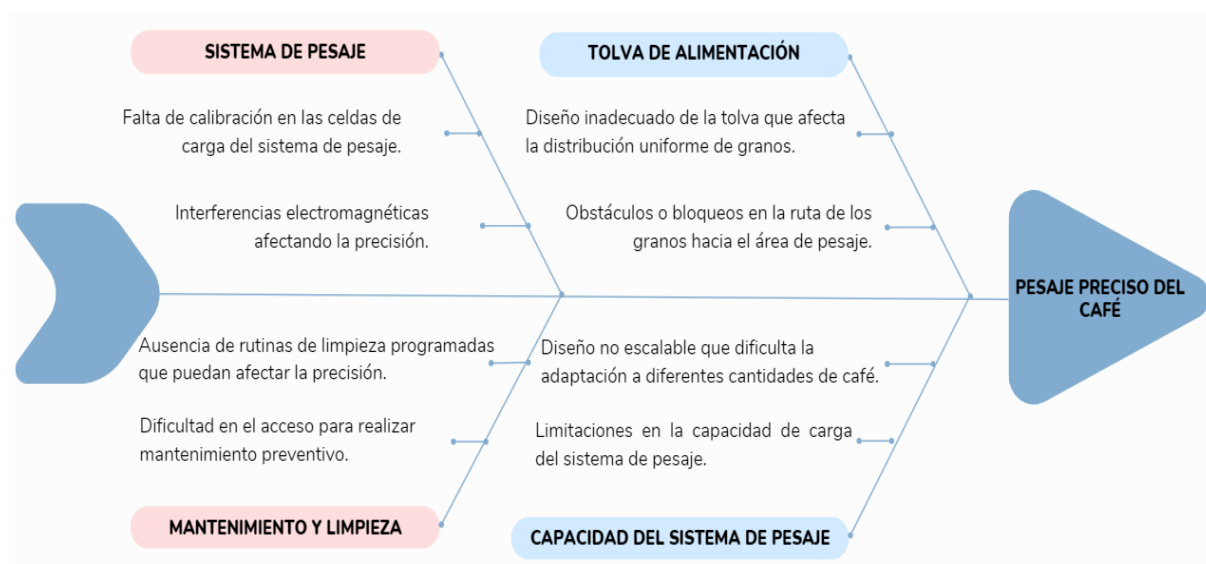


Figura 17. Diagrama de Ishikawa.

La Tabla 4 destaca la relación clave entre el "Sistema de Pesaje" y el "Pesaje Preciso del Café". Enfocándose en la importancia del diseño efectivo del sistema en un molino automatizado, se subraya la necesidad de medición precisa para garantizar la consistencia en las cantidades de granos antes y después de la molienda. Optimizar las variables del sistema de pesaje directamente mejora la exactitud y calidad en la producción del café molido.

Tabla 4. Causa y efecto.

Causa Principal	Efecto Principal
Sistema de Pesaje	Pesaje Preciso del Café

2.3. Variables por controlar

La Tabla 5 muestra cómo la implementación de tecnologías mecatrónicas, como sensores de peso y actuadores controlados por sistemas de control, se relaciona con la medición de su presencia y funcionamiento en un molino automatizado.

Tabla 5. Variables independientes.

VARIABLES	FUNCIÓN
Variable independiente: Implementación de tecnologías mecatrónicas en el molino automatizado.	Esta variable se puede operacionalizar mediante la instalación de sensores de peso y actuadores controlados por sistemas de control mecatrónico en el molino. Se medirá la presencia y funcionamiento adecuado de estos componentes durante las pruebas experimentales.

La Tabla 6 presenta tres variables dependientes en un estudio sobre un molino automatizado: precisión del pesaje, eficiencia operativa y calidad del producto final del café molido. Se evalúa la precisión comparando pesos reales y medidos, la eficiencia mediante tiempos de molienda y funcionamiento sin fallos, y la calidad a través de evaluación sensorial.

Tabla 6. Variables dependientes.

VARIABLES	FUNCIÓN
Precisión del pesaje: La precisión con la que el molino automatizado puede pesar el café, tanto en grano como molido.	Se medirá la diferencia entre el peso real del café y el peso medido por el sistema de pesaje del molino automatizado. Se utilizarán estándares de referencia para comparar los resultados obtenidos.
Eficiencia operativa: La capacidad del molino automatizado para procesar el café de manera rápida y sin interrupciones.	Se medirá el tiempo necesario para moler una cantidad específica de café y se registrarán los tiempos de funcionamiento continuo sin fallos o interrupciones del sistema.
Calidad del producto final: La calidad sensorial y física del café molido producido por el molino automatizado.	Se llevará a cabo una evaluación sensorial por parte de personas que consumen este producto para determinar atributos como aroma, sabor y textura del café molido.

2.4. Análisis de alternativas

En el análisis de alternativas se tiene en cuenta algunas características, estas serán calificadas gracias a parámetros como lo son: costo, tipo de material, tipo de máquina, tipo de pesaje, mantenimiento y refacciones de fácil acceso.

Las alternativas son:

- Compra de un molino similar.
- Rediseño de un molino similar.
- Diseño y construcción de un molino.

2.4.1. Tablas comparativas para la Selección de alternativas

Para lograr esta comparación de los parámetros que son: costo, tipo de material, tipo de máquina, tipo de pesaje, mantenimiento y refacciones de fácil acceso, estas serán calificadas en cada alternativa logrando así seleccionar la mejor opción, teniendo como método de calificación un rango de 1 – 5 como se puede observar en la Tabla 7, sabiendo que el valor de

1 representa que no cumple con los parámetros o es malo y 5 que representa que cumple con satisfacción los parámetros requeridos o en muy bueno.

Tabla 7. Calificación y selección de las alternativas de forma cuantitativa.

Alternativas	Costo	Tipo de material	Tipo de pesaje	Mantenimiento	Puntaje total
Compra de un molino similar	1	3	2	2	8
Rediseño de un molino similar	2	3	2	3	10
Diseño y construcción de un molino.	4	4	5	3	16

Los tipos de mecanismos para moler café son muy variados, en este apartado se calificarán sus tipos según la necesidad que es el molido fino de café entre estas existen molinos de muelas cónicas, molinos de muelas planas y molinos de discos, como método de calificación se da un rango de 1 – 5 como se puede observar en la Tabla 8, sabiendo que el valor de 1 representa que no cumple con los parámetros o es malo en el caso de costo y mantenimiento y 5 que representa que cumple con satisfacción los parámetros requeridos o en muy bueno.

Tabla 8. Tipo de mecanismo.

Tipo de mecanismo	Bajo costo	Configuración y uso común	Uniformidad de molienda	Versatilidad de uso	Puntaje total
Molinos de muelas cónicas	1	2	4	2	9
Molinos de muelas planas	2	3	4	2	11
Molinos de discos	4	5	3	4	16

Como última calificación se tendrá en cuenta el tipo de pesaje para la máquina en este caso es un pesaje automático, semiautomático o manual, aquí se define el sistema que se usará para el molino final, para la calificación se dará un rango de 1 – 5, sabiendo que 1 representa un bajo cumplimiento de los parámetros y 5 es el cumplimiento total de los parámetros requeridos como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Tipo de Pesaje.

Tipo de pesaje	Precisión	Velocidad	Facilidad de uso	Bajo Costo	Puntaje total
Pesaje automático	5	5	5	1	16
Pesaje semiautomático	3	4	4	3	14
Pesaje manual	2	2	3	5	12

Para tener una calificación final que abarque todos los requerimientos antes propuestos en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9, se realiza una sumatoria total con ponderación que es la división para la cantidad de parámetros calificados en este caso 4, esto se realiza para obtener un resultado final como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Calificación con ponderación final.

Alternativas/Tipo de mecanismo/ Tipo de pesaje	Subtotal	Ponderación	Calificación más alta
Compra de un molino similar	8	2	
Rediseño de un m molino similar	10	2.5	
Diseño y construcción de un molino.	16	4	4
Molinos de muelas cónicas	9	2.25	
Molinos de muelas planas	11	2.75	
Molinos de discos	16	4	4
Pesaje automático	16	4	4
Pesaje semiautomático	14	3.5	
Pesaje manual	12	3	

Teniendo los resultados finales de la Tabla 10, se logra apreciar las características para el diseño del molino.

- Diseño y construcción de un molino (calificación 4).
- Molinos de discos (calificación 4).
- Pesaje automático (calificación 4).

2.5. Técnicas e Instrumentación

2.5.1. Sensores de peso

Se utilizarán galgas extensiométricas de alta precisión como sensores de peso. Estas galgas se adherirán a la estructura del molino y se deformarán bajo la carga del café, generando cambios en su resistencia eléctrica que serán proporcional al peso aplicado. Se utilizará un puente de Wheatstone con un amplificador de instrumentación para medir con precisión estos cambios de resistencia y obtener lecturas de peso precisas y estables en la Figura 18 se observa una galga convencional.



Figura 18. Galga extensiométrica convencional [30].

2.5.2. Controlador

El control del molino automatizado estará a cargo de un microcontrolador Arduino Mega2560 como se observa en la Figura 19. Este controlador proporcionará la capacidad de procesamiento necesaria para ejecutar algoritmos de control y coordinar las acciones de los sensores y actuadores del sistema. Se programará utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, utilizando un lenguaje de programación basado en C/C++ para implementar las funciones de control y la comunicación con los periféricos.



Figura 19. Controlador Arduino Mega2560 [31].

2.5.3. Variador de frecuencia

También denominado variador de velocidad, convertidor de frecuencia o VFD (Variable Frequency Drive), es un equipo electrónico empleado en diversas aplicaciones para regular la velocidad y el desempeño de motores eléctricos trifásicos de corriente alterna, ya sean asíncronos o síncronos en la Figura 20 se observa una imagen representativa.

La función principal de este variador es ajustar la frecuencia de la corriente eléctrica que llega al motor, lo cual regula directamente la velocidad y el par motor. Esto posibilita un control preciso de la velocidad del motor, lo que mejora la eficiencia energética, optimiza el control del proceso y prolonga la vida útil del motor [33].



Figura 20. Variador de frecuencia Delta [33].

El variador Delta VFD007EL21W-1 escalar es una opción ideal para el sistema automatizado de molienda de café por las siguientes razones:

- Salida 3 fases, 0-240V, 0.75 kW (HP), es compatible con el motor trifásico WEG de 1HP empleado en el proyecto, garantizando un margen de operación segura.
- Modulación de frecuencia y voltaje, Permite un control precisión en las velocidades del motor de manera eficiente, ajustando la velocidad según las necesidades para el sistema.
- Costo accesible, la marca Delta se destaca por ser una opción económica dentro de los variadores disponibles en el mercado ecuatoriano. Gracias a esto se utiliza en presupuestos limitados sin comprometer la funcionalidad ni la calidad.
- Protecciones integradas, tiene protección contra sobrecargas, cortocircuitos y sobrecalentamientos, asegurando la seguridad del equipo en condiciones de trabajo variables.
- Compatibilidad con el controlador Arduino mega mediante Modbus RTU, Es compatible con el módulo RS485 y Arduino, permitiendo una integración sencilla y confiable.
- Su control escalar es suficiente para el sistema automatizado de molienda, ya que no requiere un control de torque preciso como en aplicaciones de posicionamiento o arranques complejos.

En la Tabla 11 se puede observar una comparación técnica del variador con los requisitos del proyecto, asegurando su compatibilidad y funcional.

Tabla 11. Selección compatible y funcional del variador.

Parámetro	Requisito del proyecto	Delta VFD007EL21W-1	Cumple (Sí/No)
Tipo de entrada	Monofásica, 200-240V	Monofásica, 200-240V	Sí
Tipo de salida	Trifásica, compatible con 1/2 HP	Trifásica, 1 HP (0.75 kW)	Sí
Rango de frecuencia	Mín. 0-60 Hz	0.1-400 Hz	Sí
Integración con Arduino	Compatible con Modbus RTU	Modbus RTU incluido	Sí
Tamaño compacto	Espacio reducido en el sistema	Compacto y ligero	Sí
Protección del motor	Sobrecargas y cortocircuitos	Protecciones integradas	Sí

En la Tabla 12 se observa el costo y características del variador Delta en comparación con otras opciones del mercado.

Tabla 12. Comparación de costos y funcionalidad con otros variadores.

Marca/Modelo	Costo aproximado	Potencia máxima (HP)	Compatibilidad con Modbus RTU	Razón para no elegir
Delta VFD007EL21W-1	Bajo	1 HP	Sí	Mejor relación costo-beneficio.
ABB ACS150	Alto	1 HP	Sí	Costo elevado para el proyecto.
Schneider Altivar 12	Medio	0.5 HP	Sí	Límite de potencia menor.
Siemens Sinamics V20	Alto	1.5 HP	Sí	Sobrecoste y exceso de capacidad.

2.5.4. Actuador

Se utilizará un motor trifásico de alta eficiencia y potencia máxima de 1 HP como se observa en la Figura 21, Este motor proporcionará la potencia mecánica necesaria para accionar los componentes móviles del molino y los discos de tritución.



Figura 21. Actuador Motor Trifásico [22].

2.5.5. Sistemas de control y software

Se desarrollarán algoritmos de control específicos para el Arduino Mega2560, utilizando bibliotecas y funciones adecuadas para el control de motores, lectura de sensores y comunicación con otros dispositivos. Se implementarán algoritmos de control PID u otros métodos de control para mantener condiciones óptimas de pesaje y funcionamiento del molino automatizado. Se utilizarán herramientas de software como Arduino IDE, junto con simuladores y emuladores de Arduino, para la programación, depuración y prueba de los algoritmos de control antes de su implementación en el sistema físico como se visualiza en la Figura 22.

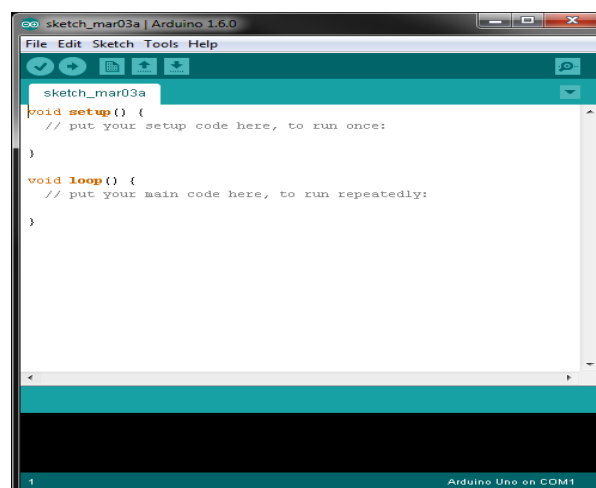


Figura 22. Sistema de control Arduino IDE [34].

2.5.6. Motor a pasos

El motor Nema 17 fue seleccionado para el movimiento que tendrá la compuerta del sistema automatizado de dosificación debido a las siguientes razones:

- Dimensiones compactas y adaptabilidad al diseño, el tamaño estándar (43,2 x 43,2mm), es ideal para integrarse a la estructura sin ocupar mucho espacio.
- Torque suficiente para mover la compuerta, ya que la compuerta se realizó en PETG un material ligero y el motor dispone de un torque de 0,4-0,6Nm proporciona la fuerza adecuada para mover la compuerta a través de un mecanismo de cremallera y piñón.
- Compatibilidad eléctrica y control sencillo, el motor nema 17 es compatible con drivers A4988 o DRV8825 que son fáciles de integrar al controlador Arduino mega, asegurando el control práctico y con posibilidades de ajustes de velocidad y fuerza mediante programación.
- Fiabilidad y precisión, el motor nema 17 ofrece una alta repetibilidad y precisión en sus movimientos ya que son utilizados en impresoras 3D que requieren una alta precisión.
- Disponibilidad en el mercado, es ampliamente fácil de adquirir, por su precio y disposición en el mercado.

En la Tabla 13 se tienen varias especificaciones que tiene este motor y debido a esto se realizó la selección.

Tabla 13. Especificaciones del motor NEMA 17.

Parámetro	Valor típico	Unidad
Dimensiones estándar	43,2 x 43,2	mm
Longitud del motor	38–48	mm
Torque nominal	0,4–0,6	Nm
Corriente nominal	1,2–2,0	A
Voltaje de operación	12–24	V
Resolución (pasos por rev.)	200	Pasos/revolución

En la Tabla 14 se observan ventajas de usar este motor a comparación de un NEMA 23.

Tabla 14. Ventaja de un motor NEMA 17.

Aspecto evaluado	NEMA 17	NEMA 23
Tamaño compacto	SI	(Más grande y voluminoso)
Torque suficiente para compuerta	SI	SI
Costo	Bajo	Medio/Alto
Compatibilidad con Arduino	Alta	Alta
Peso	Ligero	Pesado

En la Tabla 15 se especifica las protecciones eléctricas que están implementadas en el proyecto.

Tabla 15. Protección eléctrica de componentes principales.

Componente	Elemento de Protección	Descripción de la Protección
Fuente de Alimentación 12V 10A	Protección contra cortocircuito y sobrecarga integrada	La fuente de alimentación cuenta con protecciones internas contra cortocircuitos y sobrecargas para evitar daños en caso de fallos en el sistema.
Variador de Frecuencia (1 HP)	Protección contra sobrecorriente y sobrecarga	El variador de frecuencia tiene protección interna que apaga el variador si detecta una sobrecarga o un cortocircuito, protegiendo tanto al variador como al motor conectado.
Interruptor Termomagnético 16A	Protección contra sobrecorrientes y cortocircuitos	Este interruptor permite el paso de corriente al variador y a la fuente de alimentación. Está dimensionado para desconectar el circuito en caso de sobrecorriente o cortocircuito, protegiendo todo el sistema eléctrico del proyecto.
Motor Trifásico Weg 1HP	Relé térmico de sobrecarga	El relé térmico actúa como protección para el motor, desconectando el circuito cuando se detecta una corriente excesiva, previniendo así el sobrecalentamiento del motor debido a sobrecargas.
Motor NEMA 17 (Stepper Motor)	Driver con protección	El driver cuenta con protección contra cortocircuitos y sobrecalentamiento para proteger el sistema en caso de fallos.
Botones y Pulsadores	Protección de señales mediante resistencias limitadoras	Los pulsadores de paro de emergencia y otros botones están conectados a través de resistencias limitadoras para evitar daños a las señales y al Arduino.

2.6. Formulaciones

En el proceso de planificación y diseño de un molino eléctrico automatizado, se inicia con la aplicación de cálculos matemáticos precisos para mejorar la seguridad de la implementación y simplificar la adquisición de componentes. Este enfoque reduce la probabilidad de errores asociados a la incertidumbre y asegura una base científica para el funcionamiento adecuado del proyecto.

Para poder dar inicio se obtendrá las revoluciones que necesitará el motor para poder realizar la molienda siendo esta su función principal, para esta se necesitan emplear las siguientes ecuaciones:

2.6.1. Volumen de los contenedores (Tolva)

Para obtener el volumen necesario para la tolva se necesita utilizar la siguiente fórmula:

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

ρ = Densidad[g/cm³]

m = Masa [g]

V = Volumen [cm³]

Selección del motor

Para seleccionar el motor del proyecto, como primer paso se debe saber la potencia que necesita el motor para cumplir su función, en este caso moler café y se utilizarán las siguientes ecuaciones:

Potencia

$$P = T * \omega \quad (2)$$

P = Potencia[W]

ω = Velocidad $\left[\frac{rad}{s} \right]$

T = Torque [Nm]

Torque

$$T = F * d \quad (3)$$

$T = \text{Torque [Nm]}$

$F = \text{Fuerza [N]}$

$d = \text{distancia del brazo al eje [m]}$

Transformación de vatios (W) a Caballos de fuerza (HP)

$$HP = \frac{W}{746} \quad (4)$$

$HP = \text{Caballos de fuerza [HP]}$

$W = \text{Vatios [W]}$

Área del círculo

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (5)$$

$A = \text{Área del círculo [mm}^2\text{]}$

$d = \text{Diámetro del círculo [mm]}$

Esfuerzo normal

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$\sigma = \text{Esfuerzo normal [N]}$

$F = \text{Fuerza nominal [Mpa]}$

$A = \text{Área trasversal [mm}^2\text{]}$

Factor seguridad

$$Fs = \frac{\sigma \text{ material}}{\sigma \text{ calculado}} \quad (7)$$

$F = \text{Factor seguridad}$

$\sigma \text{ material} = \text{Limite elástico}$

$\sigma \text{ material} = \text{Esfuerzo de trabajo}$

2.6.2. Selección de los pernos

A continuación, se realiza la selección de los pernos que ayudaran a la sujeción de varias partes de la estructura y el molino como tal, para esto se debe realizar cálculos utilizando las siguientes ecuaciones:

Esfuerzos

Cortante:

$$\tau = \left[\frac{4F}{3A} \right] \quad (8)$$

τ = Esfuerzo [MPa]

F = Fuerza [N]

A = Área [m²]

Tensión:

$$\sigma = \left[\frac{F}{A} \right] \quad (9)$$

σ = Esfuerzo [MPa]

F = Fuerza [N]

A = Área [m²]

Factor seguridad:

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right] \quad (10)$$

n = Factor de seguridad

τ_l = Esfuerzo último del material [MPa]

τ_T = Esfuerzo de trabajo [MPa]

2.6.3. Selección de Soldadura

Cargas de Tensión o compresión

$$\sigma = \frac{F}{h * l} \quad (11)$$

σ = Ezfuerzo normal [MPa]

F = Carga de tracción [N]

l = longitud de la soldadura [m]

h = Garganta de soldadura [m]

Cargas cortantes y trasversales

$$\tau = \frac{F}{h * l} \quad (12)$$

τ = Ezfuerzo cortante [MPa]

F = Carga cortante [N]

l = longitud de la soldadura [m]

h = Garganta de soldadura [m]

Cargas cortantes paralelas

$$\tau = \frac{F}{0,707 * h * l} \quad (13)$$

τ = Ezfuerzo cortante [MPa]

F = Carga cortante [N]

l = longitud de la soldadura [m]

h = Garganta de soldadura [m]

Ley de Ohm:

$$V = I * R \quad (14)$$

V = Tensión [V]

I = Corriente [A]

R = Resistencia [Ω]

Potencia eléctrica:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi \quad (15)$$

P = Potencia eléctrica [W]

V = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

$\cos\phi$ = Factor de potencia [MPa]

$\sqrt{3}$ = Factor que aparece en sistemas trifásicos para combinar fases

Eficiencia del motor:

$$\eta = \frac{P_{mecánica}}{P_{eléctronica}} * 100 \quad (16)$$

η = Eficiencia [%]

$P_{mecánica}$ = Potencia de salida útil del motor [W]

$P_{eléctronica}$ = Potencia de entrada al motor [W]

Velocidad sincrónica del motor:

$$N_s = \frac{120 * F}{P} \quad (17)$$

N_s = Velocidad sincrónica del motor [RPM]

F = Frecuencia [Hz]

P = Número de polos

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Introducción

En esta sección, se analizará la situación actual del proyecto del molino eléctrico, identificando los problemas y describiendo las posibles soluciones. Se utilizarán herramientas tecnológicas para implementar el sistema, garantizando que se ajusten a las especificaciones del proyecto a través de simulaciones y pruebas operativas.

3.2. Descripción de la situación actual

El molino eléctrico actual funciona mediante un motor que hace girar unas muelas para moler los granos de café. Sin embargo, todo el proceso de producción se lleva a cabo manualmente. Los operadores controlan la cantidad de café que se introduce en el molino y supervisan la molienda, pero no hay un sistema automático que regule la cantidad de café que se muele en cada ciclo.

En la producción actual, la cantidad de café molido se estima visualmente, lo que puede llevar a errores en la cantidad de café que se muele. Además, la calidad y cantidad de café molido están dependiendo de la habilidad del operador, lo que puede resultar en inconsistencias en el producto final.

La falta de un control automático del peso del café molido es uno de los principales problemas. Esto puede llevar a variaciones en la cantidad de café producida, lo que resulta en desperdicio de café y falta de eficiencia en el proceso de producción, para entender de mejor manera se tienen todos los aspectos y estado actual en la Tabla 16.

Tabla 16. Estado actual del proceso de molienda

Aspecto	Estado Actual
Automatización	Manual, sin control automatizado de peso
Producción	Basado en estimaciones manuales
Precisión	Depende de la habilidad del operador
Problemas principales	Falta de precisión, dependencia de operadores

3.3.Cálculos y Selección

Se utilizarán las ecuaciones que se representaron anteriormente para realizar los cálculos de para la selección de los elementos que componen al proyecto.

3.3.1. Cálculo del volumen de los contenedores (Tolva)

Para poder obtener el volumen de la tolva, se necesita obtener la densidad aparente de los granos de café, para esto se aplicará la Ecuación 1.

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

La densidad de un grano de café se representa en la Tabla 17, en la que se encuentra la densidad del café en grano.

Tabla 17. Densidad del café en grano [35].

Producto Agrícola	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³) para 12kg
Café en Grano	310	0,038
Café Molido	350	0,034

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

Como se puede observar en la Tabla 17 el grano de café tiene una densidad de 310kg/m³, este dato se obtuvo mediante la utilización de un recipiente de un litro graduado, como se observa en la Figura 23, restando el valor de 60 kg/m³ que tiene el recipiente de forma individual, teniendo este dato se aplica la fórmula de la densidad y se obtiene un volumen de 0,038m³ y una masa de 11,78kg que es el valor de café en grano a contener. La tolva tiene las medidas que se muestran en la Figura 23, utilizando estos valores se tiene un volumen de 0,041m³, luego usando la densidad del café y el volumen de la tolva se obtiene la masa que es de 12,71kg que es el valor que puede contener la tolva.



Figura 23. Recipiente de litro graduado de café en grano.

Utilizando el software SolidWorks se realizó un modelado en 3D de las dos tolvas con las medidas del diseño, las medidas solo están tomadas en cuenta para la parte rectangular de las tolvas y así la tolva presenta un volumen residual, lo que representa la capacidad no utilizada dentro del mismo. Esta medida se la toma como sobredimensionamiento de la capacidad para mejorar la eficiencia del almacenamiento y maximizar la capacidad del contenedor, esto se puede observar tanto en la Figura 24 y Figura 25.

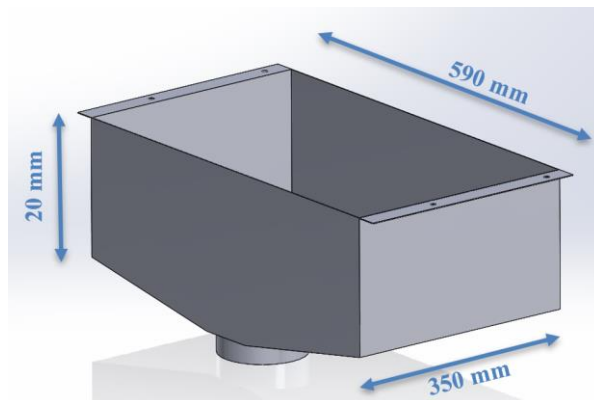


Figura 24. Dimensiones para la tolva 1.

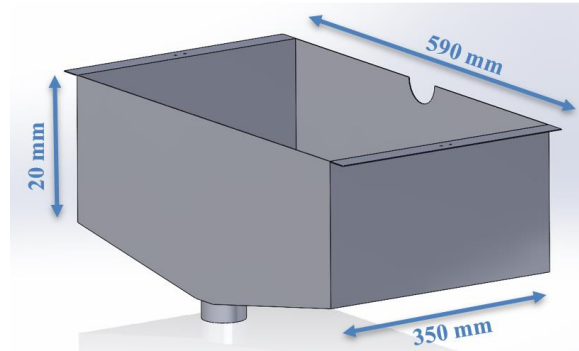


Figura 25. Dimensiones para la tolva 2.

Café molido

Teniendo en cuenta que se utiliza una segunda tolva, se realizan los mismos cálculos cambiando la densidad del café molido, para obtener este dato se utilizó un recipiente de un litro graduado teniendo como resultado 350kg/m^3 restando el valor de 60kg/m^3 que es del recipiente de forma individual como se observa a en la Figura 26, teniendo la densidad se realiza los mismos pasos de la anterior tolva teniendo un volumen de $0,034\text{m}^3$ como se observa en la Tabla 17 y una masa de $11,90\text{kg}$ a contener de café molido. La tolva tiene las medidas que se muestran en la Figura 25, utilizando estos valores se utiliza un volumen de $0,041\text{m}^3$ y una masa de $14,35\text{kg}$ que sería el valor que puede contener en la tolva de café molido.



Figura 26. Recipiente de litro graduado para café molido.

3.3.2. Cálculo de la potencia del motor

Para realizar este cálculo se debe tener en cuenta la carga que tendrá que mover el motor, en la Tabla 18 se muestra el peso total que necesita mover el motor.

Tabla 18. Componentes para determinar la fuerza requerida.

Componente	Fuerza (N)
Peso de café, aplicando la fuerza de ruptura del café	117,72
Peso del tornillo sin fin y el disco	7,563
Fuerza total requerida	125,283

Para obtener la potencia necesaria para el motor se debe tener el torque, se utiliza la Ecuación 3 para obtener este dato, para la distancia se utilizó la distancia que existe entre el eje del motor y el disco triturador donde se aplica la fuerza, teniendo como distancia 0.15m.

$$T = F * d$$

$$T = 125,283\text{N} * 0,15\text{m}$$

$$T = 18,792\text{Nm}$$

Teniendo el dato del torque se procede a utilizar la Ecuación 2 que representa a la potencia esto teniendo en cuenta como velocidad angular 300rpm que es la velocidad óptima a un ritmo bajo para la molienda del café.

$$P = T * \omega$$

$$P = 18,792 * \frac{2\pi * 300}{60}$$

$$P = 590,36 \approx 591[W]$$

Como paso final se realiza la transformación de watts a HP, esto se realiza utilizando la Ecuación 4.

$$HP = \frac{W}{746}$$

$$HP = \frac{591}{746}$$

$$HP = 0,79 \text{ [HP]}$$

El motor que se usa finalmente es un motor trifásico de 1Hp por su facilidad de adquisición, y debido a esta selección el rendimiento del equipo será óptimo, las características del motor se observan en la Tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones del motor.

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR	
Marca	WEG
Sistema	Trifásico
Potencia	1 (HP)
Tensión	220V
Medida Eje	19
RPM	1730
Frecuencia	60 (Hz)

3.3.3. Cálculo para el eje, factor seguridad

En este cálculo se necesita utilizar la Ecuación 5, con esto se obtiene el área del eje sabiendo que la medida del eje es de 19mm este dato se obtiene de la Tabla 19.

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$A = \pi \left(\frac{19}{2}\right)^2$$

$$A = 283,53mm^2$$

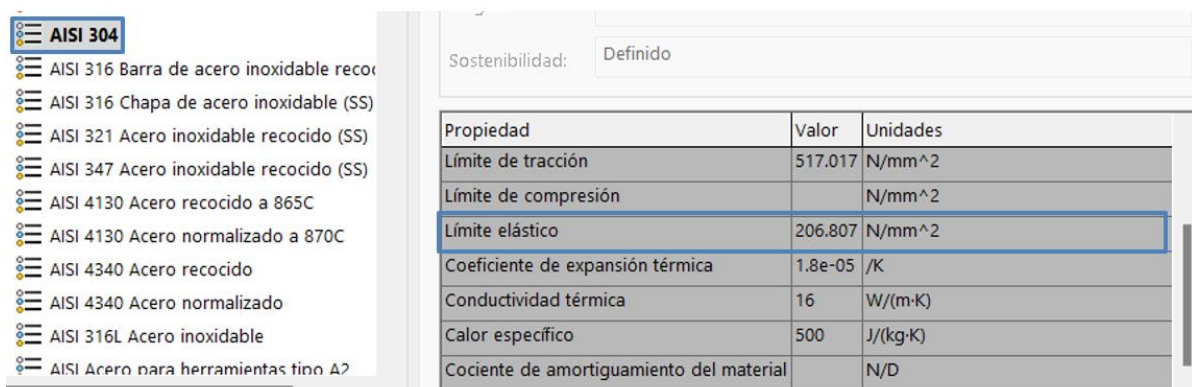
Luego de obtener el área del eje, se procede a aplicar la Ecuación 6 para encontrar el esfuerzo normal.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{256,563}{283,530}$$

$$\sigma = 0,904MPa$$

Como paso final se aplica la Ecuación 7 para obtener el Factor seguridad, teniendo en cuenta que el valor resultante debe ser mayor a dos para que sea óptimo, para obtener los datos necesarios para la Ecuación 7 se utilizan los datos obtenidos por el software SolidWorks como se muestra en la Figura 27.



Propiedad	Valor	Unidades
Límite de tracción	517.017	N/mm^2
Límite de compresión		N/mm^2
Límite elástico	206.807	N/mm^2
Coefficiente de expansión térmica	1.8e-05	/K
Conductividad térmica	16	W/(m·K)
Calor específico	500	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 27. Limite elástico del eje.

$$F_s = \frac{\sigma_{\text{material}}}{\sigma_{\text{calculado}}}$$

$$F_s = \frac{206,807}{0,904}$$

$$F_s = 228,768$$

Con este dato se observa que el factor seguridad esta sobredimensionado y con esto se garantiza su buen funcionamiento.

3.3.4. Selección de pernos

Para este proyecto se utilizará uniones apernadas, debido a esto se necesita calcular el esfuerzo a tensión y cortante al que se someterá el perno para procurar un buen rendimiento.

Selección de pernos para el motor:

Para seleccionar los pernos de la sección del motor se toma en cuenta que estos pernos estarán sometidos a una fuerza cortante debido al peso del motor y a fuerzas laterales durante su funcionamiento, en la Figura 28 se puede observar una referencia de la unión a cortante, también estará sometido a una fuerza a tensión debido a las vibraciones que realiza el motor, en la Figura 29 se observa una referencia de la unión a tensión, por lo tanto se realizan los siguientes cálculos:

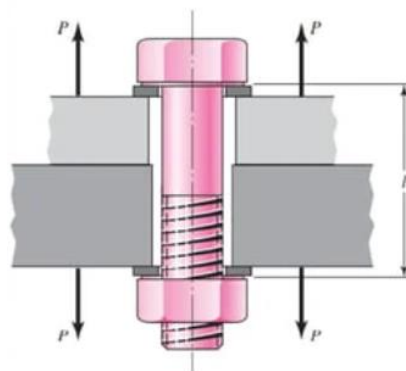


Figura 28. Referencia de unión a tensión.

Para la constante de la fuerza se toma el peso del motor el cual es de 103,593 [N] y se toma un diámetro de 5 [mm], para este cálculo se utiliza la Ecuación 9.

$$\sigma = \left[\frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} \right]$$

$$\sigma = \frac{103,593}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\sigma = 5,27 \text{MPa}$$

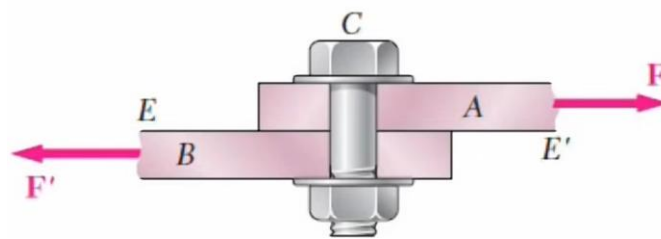


Figura 29. Referencia de unión a cortante.

Para el cálculo de la unión a cortante se utiliza la Ecuación 8 con los mismos valores usados en la unión a tensión.

$$\tau = \left[\frac{4F}{3A} \right]$$

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{103,593}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\tau = 7,03 \text{MPa}$$

Con el resultado de la unión a cortante y a tensión se utiliza la tabla que se muestra en la Figura 30, se obtiene así la selección de un perno con cabeza hexagonal de categoría 4.8 y M5, para esta selección también se toma en cuenta la estética del perno con fines de ergonomía.

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 30. Propiedades mecánicas de los pernos.

Luego de seleccionar el perno se utiliza el valor del esfuerzo límite del acero de bajo carbono que es de 360 [MPa], con este dato se puede obtener el factor de seguridad del perno, utilizando la Ecuación 10.

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right]$$

$$n = \frac{360}{7,03}$$

$$n = 51,20 \text{ MPa}$$

El factor seguridad del perno esta sobredimensionado como se logra observar en el cálculo, pero al tener en cuenta cuestiones de ergonomía y para tener dimensiones iguales en todo el proyecto se mantiene esta selección ya que cumple con su función de resistir a la fuerza que será sometido.

Selección de pernos para el molino:

En esta sección se tienen en cuenta los mismos parámetros que en la sección el motor ya que comparten movimiento, debido a esto se utilizarán las mismas ecuaciones.

Para la constante de la fuerza se toma el peso del molino el cual es de 35,60 [N] y se toma un diámetro de 5 [mm], para este cálculo se utiliza la Ecuación 9.

$$\sigma = \left[\frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} \right]$$

$$\sigma = \frac{35,60}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\sigma = 1,81 \text{ MPa}$$

Para el cálculo de la unión a cortante se utiliza la Ecuación 8 con los mismos valores usados en la unión a tensión.

$$\tau = \left[\frac{4F}{3A} \right]$$

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{35,60}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\tau = 2,42 \text{ MPa}$$

Debido a cuestiones de dimensiones se utiliza la misma selección anterior teniendo un esfuerzo límite del acero de bajo carbono que es de 360 [MPa], con este dato se puede obtener el factor de seguridad del perno, utilizando la Ecuación 10.

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right]$$

$$n = \frac{360}{2,42}$$

$$n = 148,76 \text{ MPa}$$

Este resultado del factor seguridad denota una sobredimensión igual que en la sección anterior, gracias a esto existe la seguridad de que el perno no fallará en su función.

Sección de las tolvas:

En esta sección solo se utilizará la Ecuación 9 debido a que en esta unión no existirá variación de movimiento horizontal, será una unión como se observa en la Figura 28.

Tolva

Para la constante de la fuerza se toma el peso de la Tolva el cual es de 48,728 [N] y se toma un diámetro de 5 [mm], para este cálculo se utiliza la Ecuación 9.

$$\sigma = \left[\frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} \right]$$

$$\sigma = \frac{48,728}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\sigma = 2,48 \text{ MPa}$$

Se utiliza el esfuerzo límite del acero de bajo carbono que es de 360 [MPa], con este dato se puede obtener el factor de seguridad del perno, utilizando la Ecuación 10.

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right]$$

$$n = \frac{360}{2,48}$$

$$n = 145,16 \text{ MPa}$$

Tolva Inferior

Para la constante de la fuerza se toma el peso de la Tolva el cual es de 48,680 [N] y se toma un diámetro de 5 [mm], para este cálculo se utiliza la Ecuación 9.

$$\sigma = \left[\frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}} \right]$$

$$\sigma = \frac{48,680}{\pi \frac{5^2}{4}}$$

$$\sigma = 2,49 \text{ MPa}$$

Se utiliza el esfuerzo límite del acero de bajo carbono que es de 360 [MPa], con este dato se puede obtener el factor de seguridad del perno, utilizando la Ecuación 10.

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right]$$

$$n = \frac{360}{2,49}$$

$$n = 144,57 \text{ MPa}$$

Como se observa en las cuatro secciones de uniones apernadas existe factores de seguridad sobredimensionados que representan la seguridad y el cumplimiento de las funciones de los pernos y debido a esto se utiliza una sola selección para todas las uniones apernadas, esto ayuda a tener un solo estándar y facilita la compra de los mismos.

3.3.5. *Cálculo de unión soldada*

En el cálculo para uniones soldadas se tiene en cuenta las secciones más críticas es decir las que estarán sometidas a la mayor cantidad de fuerza y vibraciones como se observa en la Figura 31 y Figura 32, las uniones soldadas más críticas estarán sometidas al peso y movimiento del motor, molino y las tovas teniendo como un peso total de 236,601 [N], esto a una masa de 25 [kg], estimando una garganta de soldadura de 8mm

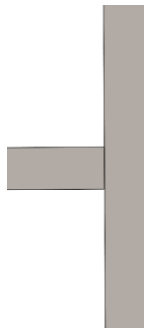


Figura 31. Unión soldada para las tovas.

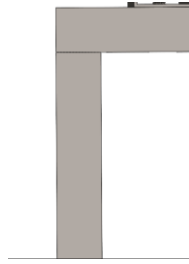


Figura 32. Unión soldada para el motor y molino.

Para realizar el cálculo de la soldadura sometida a cargas de tensión se utiliza la Ecuación 11, de la misma manera se utiliza la Ecuación 10 para tener el factor de seguridad de la soldadura.

$$\sigma = \frac{F}{h * l}$$

$$\sigma = \frac{236,601}{8 * 12}$$

$$\sigma = 2,46MPa$$

Factor seguridad de soldadura

$$n = \left[\frac{\tau_l}{\tau_T} \right]$$

$$n = \frac{250}{2,46}$$

$$n = 101,62$$

El resultado del factor seguridad es de 101,62 este factor estaría sobredimensionado indicando que no fallará ante la fuerza aplicada.

3.3.6. Cálculos y selección elementos electrónicos

Potencia eléctrica:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi$$

$$P = \sqrt{3} * 220 * 3,10 * 0,632$$

$$P = 746,55W$$

Eficiencia del motor:

Para la obtención de la eficiencia se calcula la potencia de entrada eléctrica y teniendo la potencia de la salida mecánica que es 476W solo se remplaza en la formula.

$$\eta = \frac{476}{476,55} * 100$$

$$\eta = 99,88\%$$

Velocidad sincrónica del motor:

$$N_s = \frac{120 * F}{P}$$

$$N_s = \frac{120 * 10}{4}$$

$$N_s = 300\text{RPM}$$

3.3.7. Diseño electrónico

Esquema de fuerza y potencia

Para el diseño del sistema eléctrico se utiliza sensores de peso como lo son las galgas extensiométricas y un módulo HX711 para lectura en tiempo real, controladas por un Arduino Mega que gestionará el encendido, apagado y la regulación de velocidad mediante un variador de frecuencia, se tiene una compuerta motorizada en la tolva inferior que actuará como dosificador que esta sincronizada con las mediciones de peso para dosificar la cantidad precisa de café definida por el usuario, en el panel se incluirá un display LCD, botones pulsadores para encendido y apagado del motor, un teclado numérico con letras y un botón de paro de emergencia, los elementos para su funcionamiento se muestran en la Figura 33, a continuación se tiene una descripción de cada elemento:

Q1/Q2: Interruptor termomagnético, protege el variador de frecuencia (VDF) y el motor contra sobrecargas y cortocircuitos. Su función es interrumpir el suministro eléctrico en caso de fallas.

VDF: Variador de frecuencia, modifica la frecuencia y el voltaje de salida para controlar la velocidad del motor trifásico, permite un arranque y frenado del motor, ahorro de energía y regulación precisa del motor trifásico.

M: Motor trifásico, esta acondicionado por el VDF, recibe la alimentación desde el variador en sus terminales U1, V1, W1.

K1: Contactor, controla la conexión o desconexión del motor del circuito de potencia, se opera mediante señales que se envían al VDF.

PARO: Botón de parada de emergencia, desconecta el motor o el sistema inmediatamente, sirve para evitar accidentes y en ocasiones de riesgo.

STOP: Botón de parada estándar, detiene el motor de forma controlada.

START: Botón de inicio, activa el motor trifásico.

H1: Luz piloto verde, indica que el motor se encuentra en marcha.

H2: Luz piloto roja, indica fallo o que el motor se encuentra sin marcha.

H3: Luz piloto roja intermitente, indica que el motor se encuentra el paro de emergencia activo.

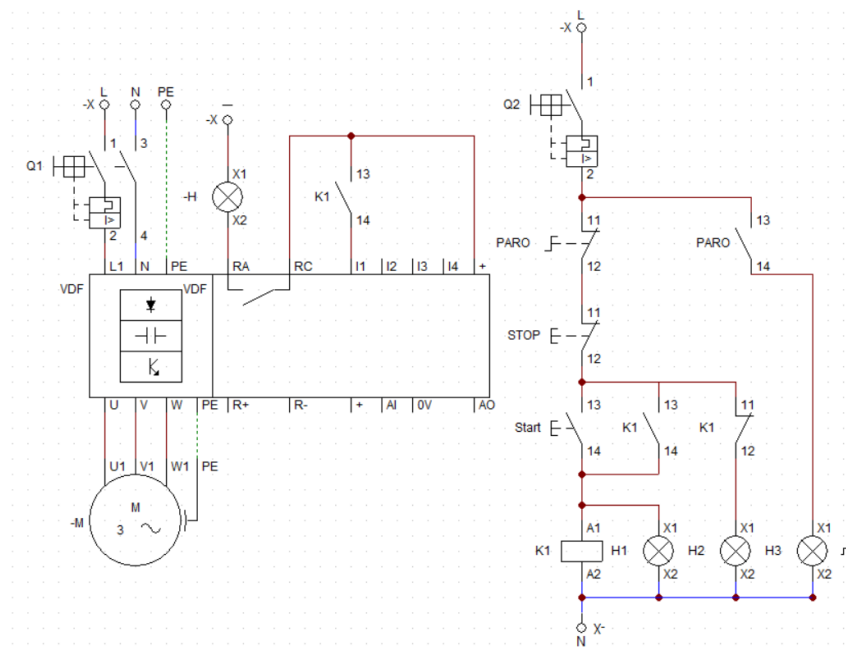


Figura 33. Esquema de fuerza y control del motor trifásico con variador de frecuencia.

Para el motor a pasos que se utiliza para el funcionamiento de la compuerta que ayuda con la dosificación del café, mediante el control de peso que es definido por los requerimientos del usuario, se realiza un esquema de control y fuerza como se observa en la Figura 34, a continuación, se tiene una breve descripción de cada elemento y su función dentro del circuito.

Q1/Q2: Interruptores termomagnéticos, protege al motor a pasos, contactores y botoneras de sobrecargas eléctricas, funciona para interrumpir el suministro eléctrico en caso de fallas.

M: Motor a pasos, acciona la compuerta dosificadora, realiza el trabajo de apertura y cierre de la compuerta mediante señales del sistema de control.

K1: Contactor, actúa para el control del movimiento del motor en un sentido de giro, es decir acciona la apertura de la compuerta, esto opera mediante señales al controlador del motor

K2: Contactor, actúa para el movimiento del motor en un sentido contrario de giro, es decir acciona el cierre de la compuerta.

K3: Contactor, permite habilitar o deshabilitar el sistema según las condiciones del sensor de peso.

T1, T2, T3: Relés temporizadores, simulan al sensor de peso debido a esto controlan la apertura, cierre y paro de dosificación de café mediante las señales ordenadas por el controlador.

Start: Activa el sistema, permitiendo al motor y a la compuerta que funcionen automáticamente según las señales del sensor de peso.

CFW: Controla el sentido de giro horario.

CCW: Controla el sentido de giro antihorario.

PD: Controla la posición de parada o parada de emergencia.

H1: Luz piloto verde, refleja que la compuerta está abierta.

H2: Luz piloto Amarilla intermitente, refleja que la compuerta se encuentra abierta en ciclo de dosificación.

H3: Luz piloto Roja, indica que la compuerta está cerrada.

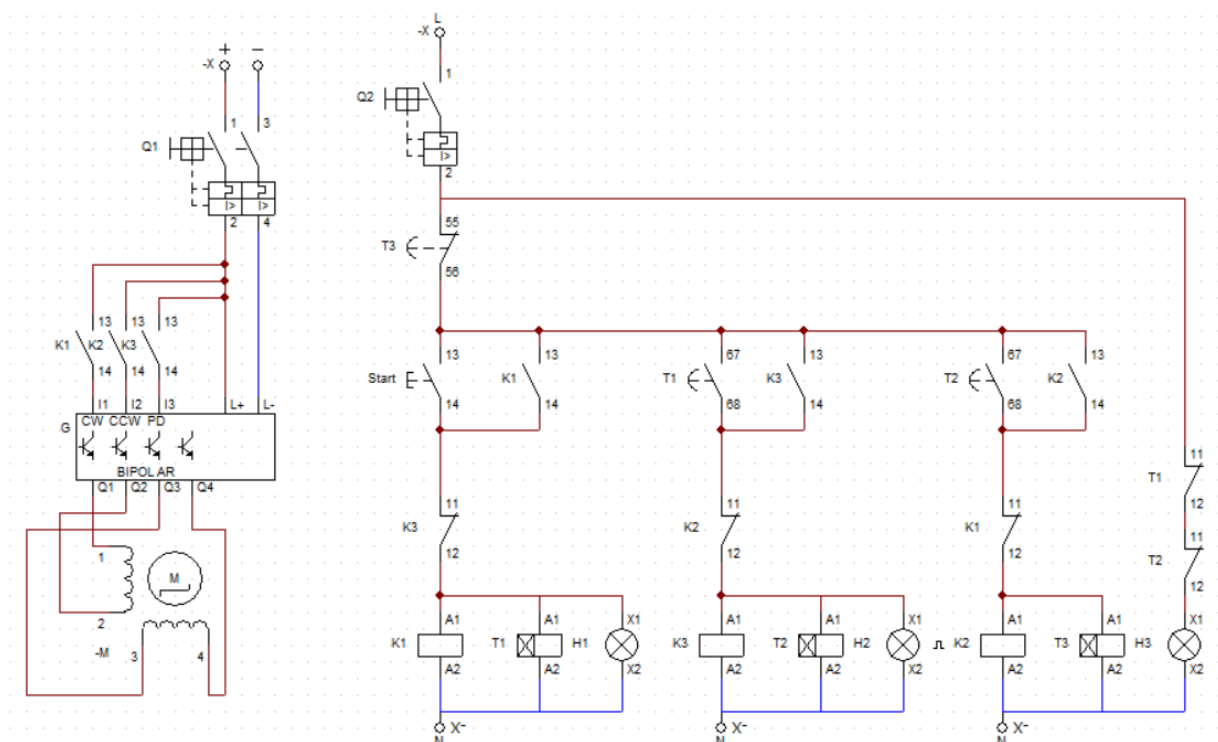


Figura 34. Esquema de fuerza y control del motor a pasos/compuerta de dosificación.

Diagrama de Flujo de la molienda del café

En este diagrama se muestra el flujo de trabajo para verificar la disponibilidad de café en las tolvas y controlar la molienda. Incluye pasos como la selección de la cantidad de café, el arranque del motor trifásico, la detección de café molido mediante sensores de peso y las acciones en casos de errores, como falta de café o fallos en el motor. El proceso finaliza al alcanzar la cantidad programada, en la Figura 35 se puede observar el diagrama completo.

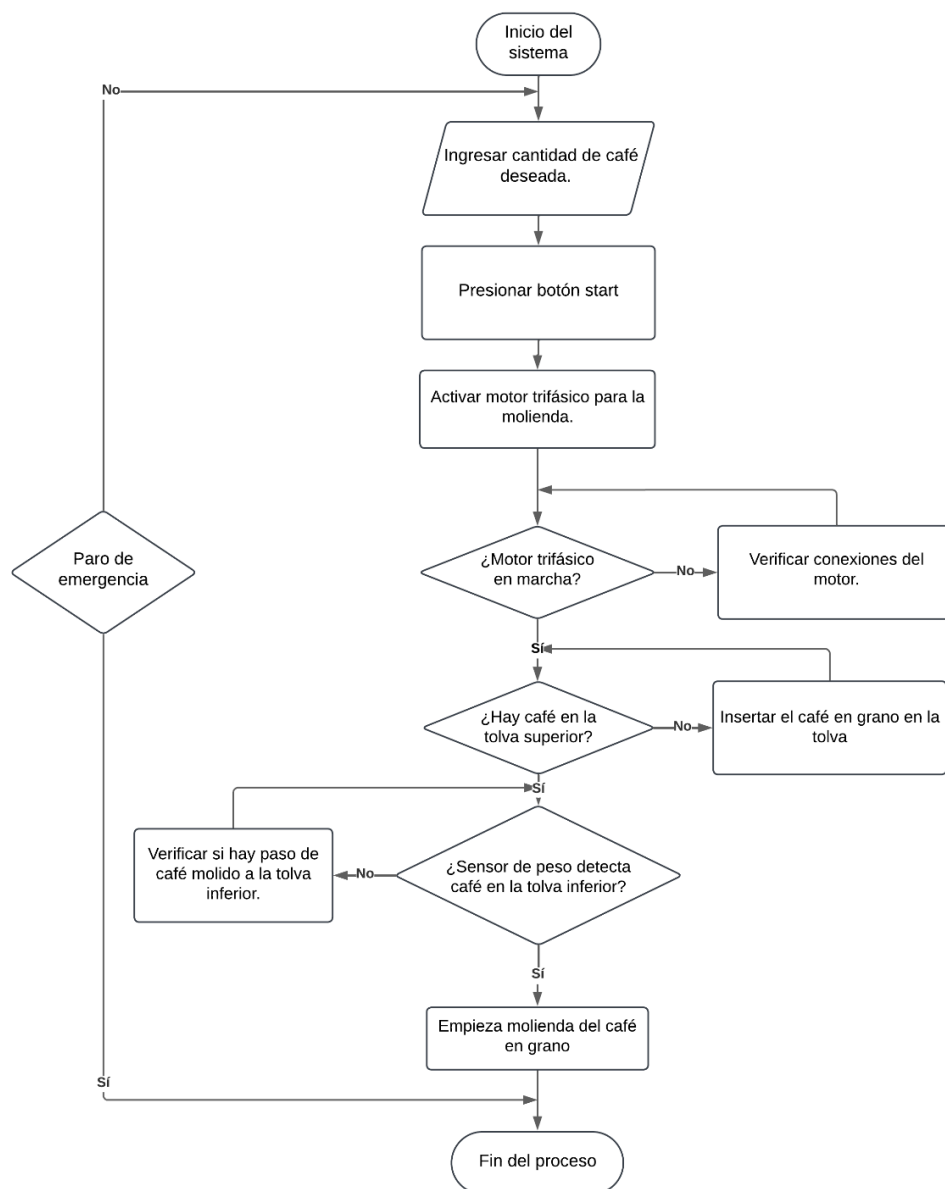


Figura 35. Diagrama de flujo de la molienda del café.

Diagrama de Flujo de dosificación del café

En este diagrama se muestra el proceso de dosificación del café desde la tolva inferior. Al presionar el botón Start, se verifica la compuerta y se inicia la dosificación, asegurando que la compuerta se abra completamente y que se alcance el peso deseado. Luego se cierra la compuerta, finalmente el sistema queda listo para una nueva configuración como se muestra en la Figura 36.

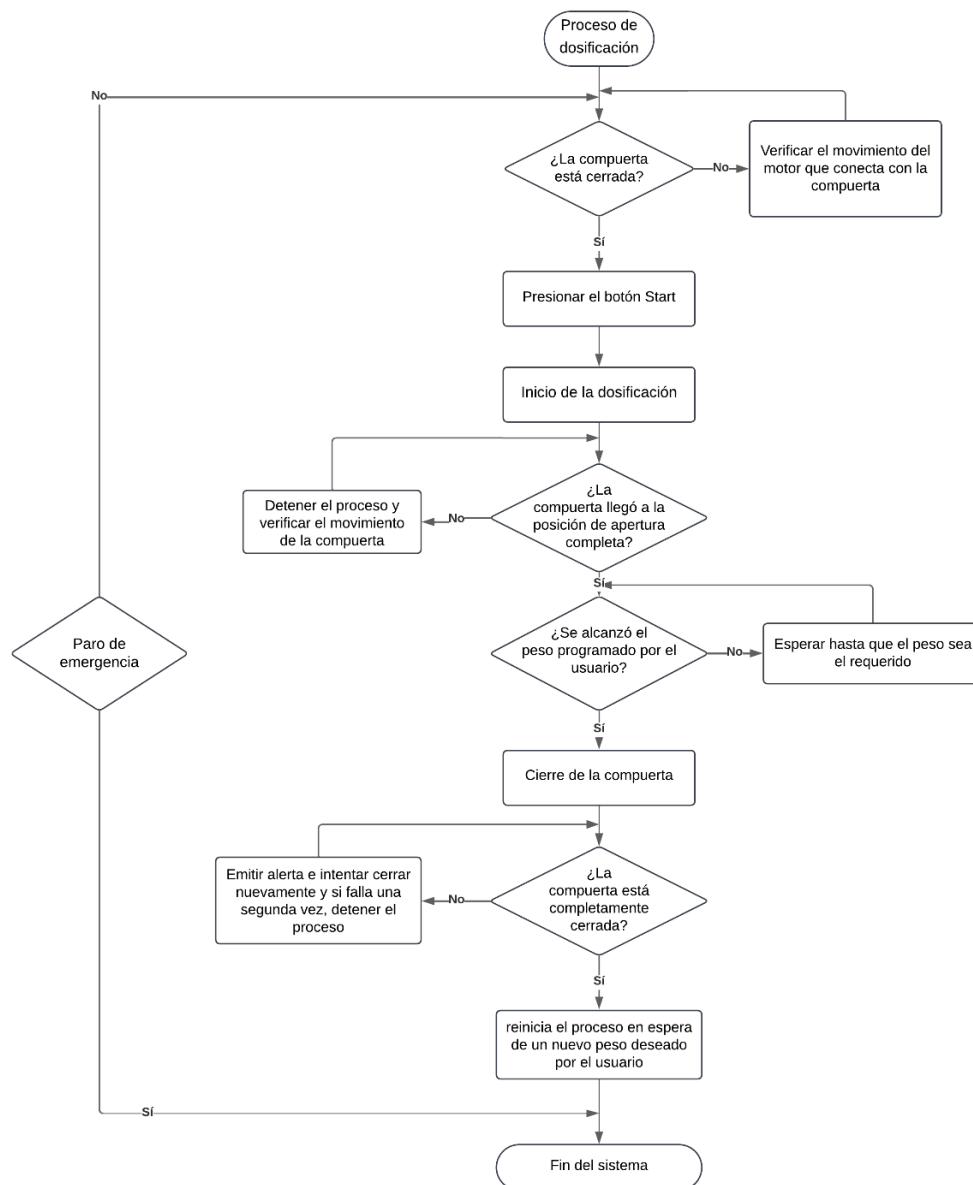


Figura 36. Diagrama de flujo de dosificación del café.

3.4. Simulaciones del proceso

Para realizar las simulaciones se buscan los elementos más críticos, es decir los que sean más propensos a fallar soportando las mayores cargas como lo son:

3.4.1. Simulación del eje

La simulación del tornillo sin fin se realiza debido al uso crítico que tendrá dentro del proyecto, ya que sin este elemento el funcionamiento del proyecto se verá totalmente afectado, se analiza los esfuerzos de Von Mises, deformaciones por cargas externas y el factor seguridad que tiene el elemento.

Datos del eje para la simulación:

- Diámetro: 19 [mm]
- Longitud: 150 [mm]
- Torque: **18,792 [Nm]**
- Material: AISI 304

En la Figura 37 se observa que el esfuerzo de Von Mises soportado en el eje es 112,749MPa, para un límite elástico de 206,807Mpa, con este resultado se concluye que el eje y el tornillo sin fin transportador son adecuados para las condiciones del diseño.

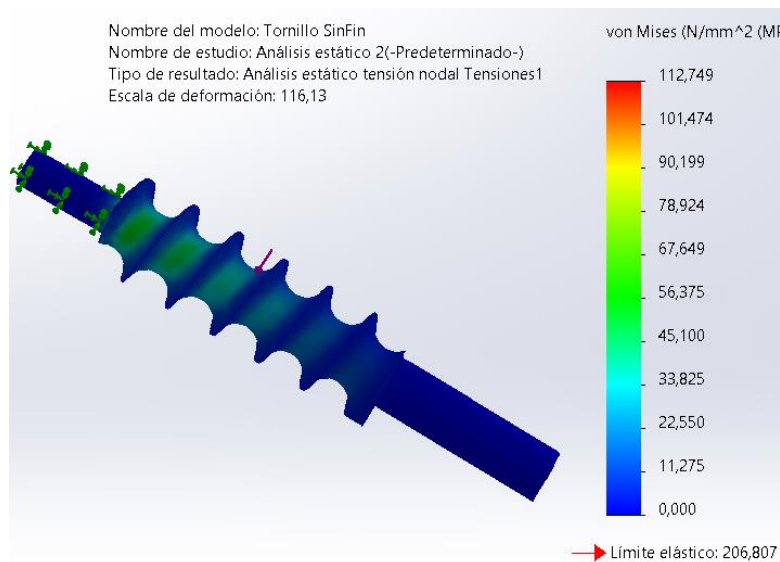


Figura 37. Análisis del esfuerzo de Von Mises aplicado al eje.

En la Figura 38 se observa la simulación de las deformaciones en el eje causadas por cargas externas, concluyendo que la deformación máxima que sufre el eje es de 0,0328mm, esto se podría considerar como una deformación aceptable ya que se encuentra dentro de la región elástica del material, gracias a esto no será una deformación perceptible.

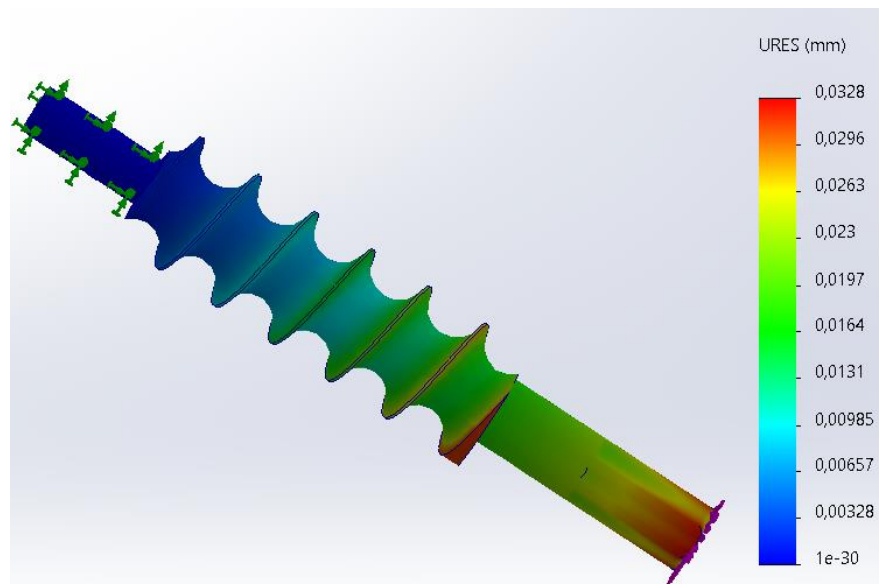


Figura 38. Análisis de deformaciones en el eje.

En la Figura 39 tenemos la simulación realizada del factor de seguridad, teniendo como factor de seguridad mínimo del eje y del tornillo sin fin transportador un resultado de 1,83, con este valor se garantiza el funcionamiento adecuado de los elementos.

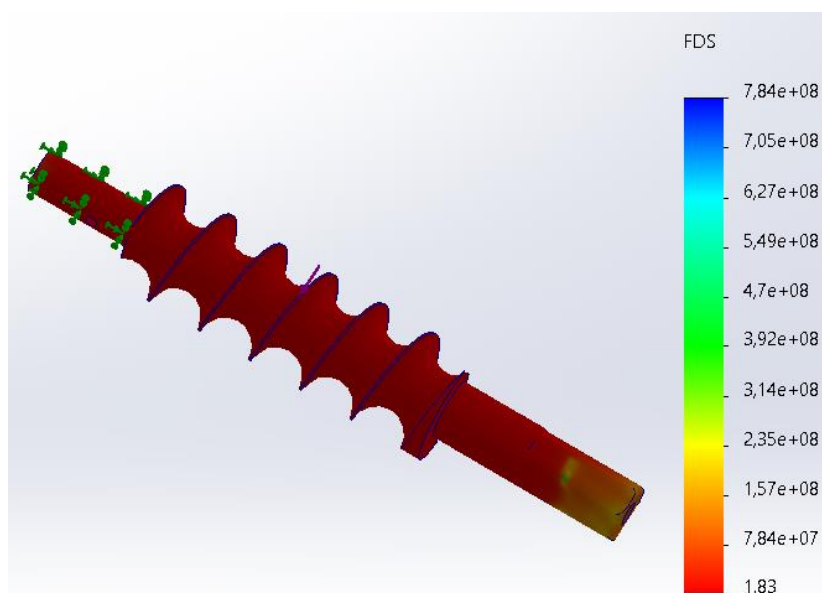


Figura 39. Análisis del Factor de Seguridad del eje sometido a fuerzas.

3.4.2. Simulación de elementos de control

En la simulación se utiliza el software CADe_SIMU, se ha omitido el teclado matricial de 4x4 y el LCD ya que su conexión es simple y directa al controlador Arduino mega 2560, debido a que el software de CADe_SIMU no contiene el controlador Arduino mega 2560 y solo el arduino uno solo por temas de simulación utiliza este controlador, como se observa en la Figura 40 se tiene un esquema de potencia del motor trifásico, el motor a pasos, los botones de activación como lo son START, STOP, PARO DE EMERGENCIA y un SELECTOR DE VELOCIDAD que contiene 3 velocidades una en cada posición y otra en su posición de reposo, y en la Figura 41 se observa el esquema de conexiones.

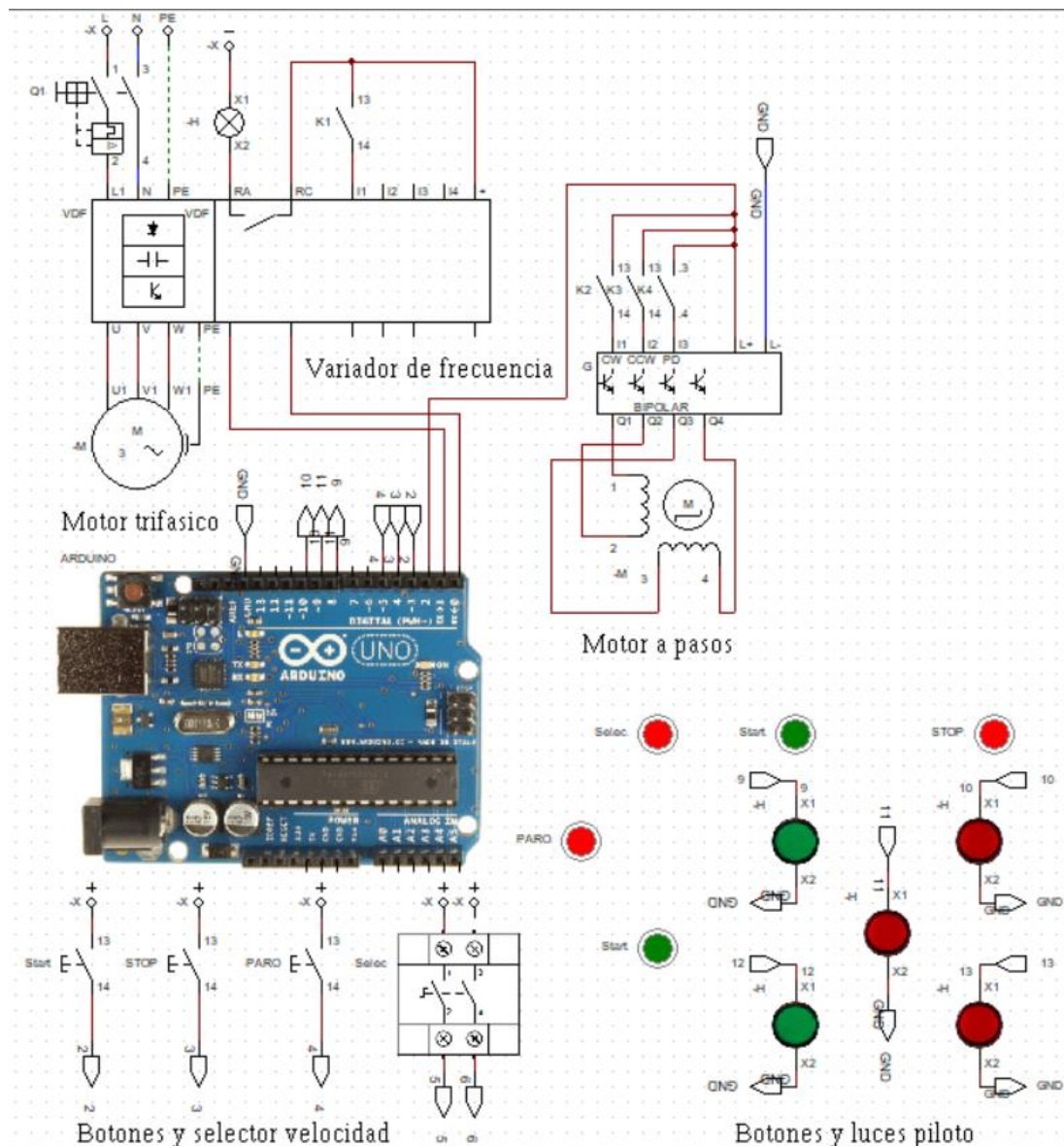


Figura 40. Esquema de potencia controlado por Arduino mega 2560.

Esquema de conexiones

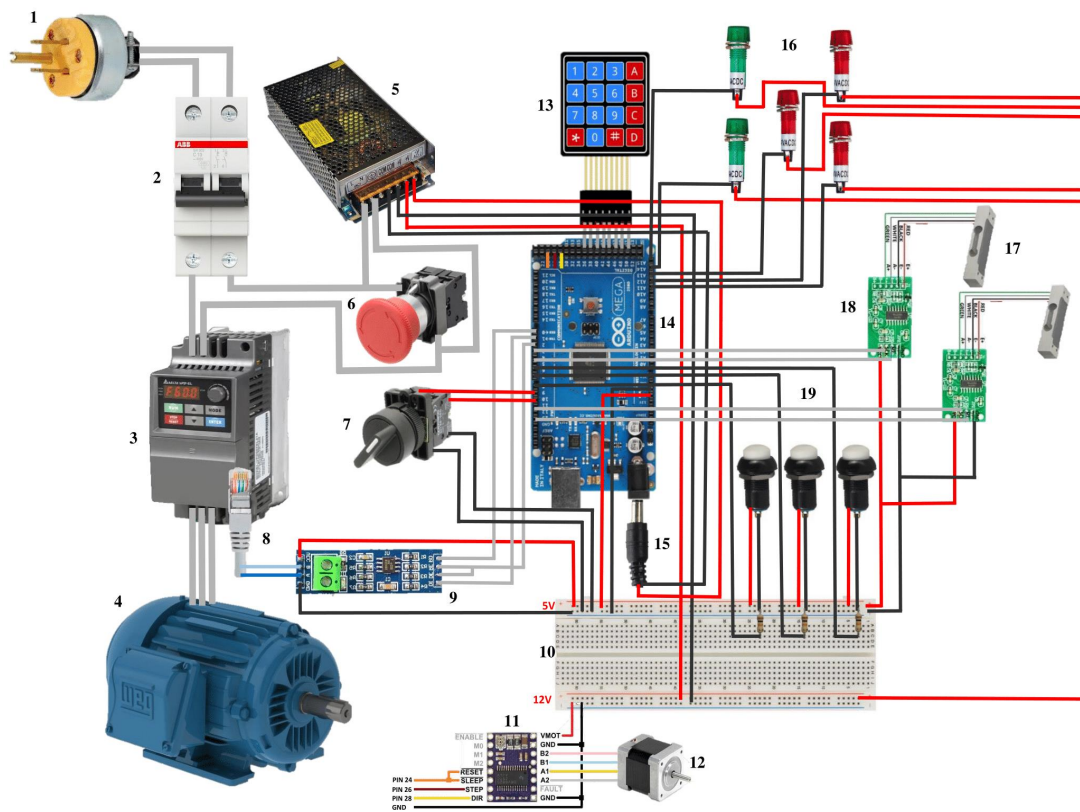


Figura 41. Esquema de conexiones.

En la Tabla 20 podemos observar los componentes que se encuentran dentro de este esquema.

Tabla 20. Componentes del esquema.

N.º	Componente	N.º	Componente
1	Enchufe	11	Driver motor a pasos
2	Breaker bipolar	12	Motor nema 17
3	Variador de frecuencia	13	Teclado matricial 4x4
4	Motor trifásico 1HP	14	Arduino Mega 2560 R3
5	Fuente de alimentación 220v - 12v/10A	15	Conector Jack de alimentación
6	Botón paro de emergencia	16	Luz piloto 12v
7	Selector giratorio 2 posiciones	17	Galgas extensiométricas 20kg
8	Cable con puerto RJ-45	18	Módulo HX711
9	Módulo conversor MAX486	19	Botones/Pulsadores
10	Protoboard		

3.5. Construcción de la máquina

Para realizar la construcción del proyecto, primero se realizó el diseño estructural del molino eléctrico, considerando dimensiones y cálculos pasados. Con la ayuda del software de diseño CAD SolidWorks, se creó un modelo tridimensional que representa el ensamblaje completo del sistema, integrando el molino, las tolvas equipadas con las galgas extensiométricas, el motor eléctrico y su estructura de soporte. Este diseño se puede apreciar en la Figura 42, mientras que los planos detallados se encuentran en la sección de anexos del documento.

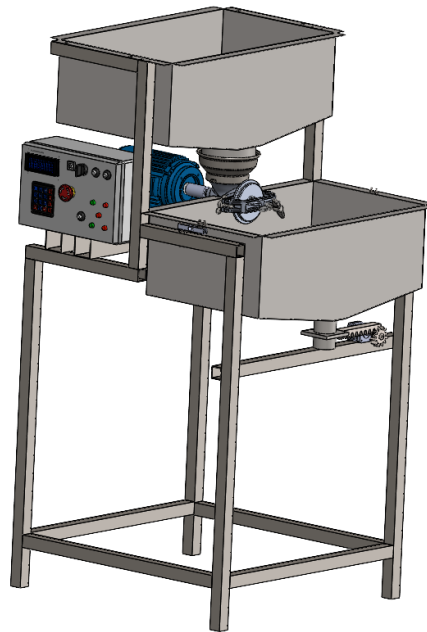


Figura 42. Diseño final del molino eléctrico.

Los componentes del sistema fueron modelados de forma individual en el software SolidWorks. Componentes como el molino corona, las tolvas y la estructura de soporte fueron diseñados siguiendo las especificaciones requeridas, una vez finalizado el modelo 3D, se continuo con la adquisición y preparación de la materia prima que conforman la estructura. Además, se adquirió el motor trifásico de 1Hp y el variador de frecuencia necesarios para el ensamblaje e implementación del sistema.

Luego, se comienza con la implementación de la estructura para el molino eléctrico teniendo como primer paso para la realización del marco inferior de la estructura mediante cortes y soldadura según el dimensionamiento del diseño 3D, como se muestra en la Figura 43, Figura 44 y Figura 45.



Figura 43. Corte y dimensionamiento de la estructura.

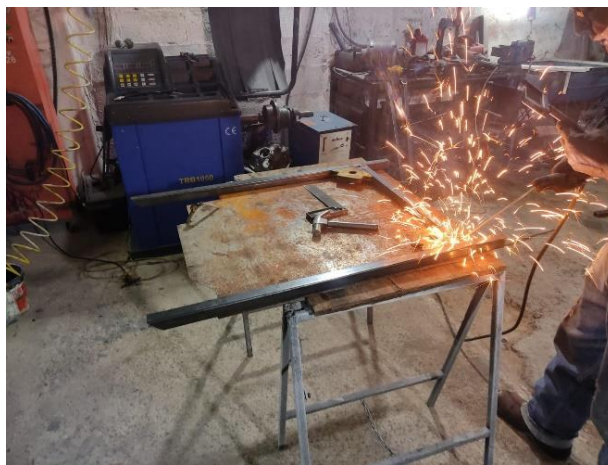


Figura 44. soldadura de la estructura.



Figura 45. Estructura final.

Terminada la estructura se procede con la construcción de las tolvas, realizando cortes a una plancha de Acero inoxidable 304, luego se doblan sus lados según las dimensiones propuestas

en el diseño 3D y se realiza la unión de sus partes mediante remaches, puliendo sus esquinas con un disco de lija para que no existan cortes con el usuario, como se observa en la Figura 46, Figura 47 y Figura 48.



Figura 46. Corte y dimensionamiento de las tolvas.



Figura 47. Remachado de las tolvas.



Figura 48. Pulido de las tolvas.

Teniendo las dos tolvas listas para su uso, se procede a montar todas sus partes como lo es el motor trifásico, el molino corona y sus dos tolvas, así como se observa en la Figura 49, Figura 50 y Figura 51



Figura 49. Tolvas terminadas.



Figura 50. Estructura con el molino y motor.



Figura 51. Ensamble final del molino.

Implementación y programación del sistema.

Se comienza con la implementación en una protoboard para comprobar el funcionamiento del circuito y la programación del mismo, utilizando varios elementos que tienen que funcionar en la implementación final como se puede observar en la Figura 52.

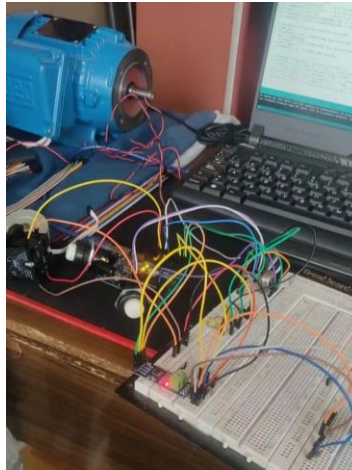


Figura 52. Implementación del sistema en protoboard.

Se realiza la implementación del circuito utilizando los botones, el selector giratorio de 2 posiciones, paro de emergencia, luces piloto, variador de frecuencia, motor trifásico y breaker bifásico como se puede observar en la Figura 53.



Figura 53. Implementación de la botonería y selector en el cajetín.

Seguimos con la conexión de los elementos de control y comunicación entre variador de frecuencia y Arduino mega 2560, realizando cortes de cables y soldadura de pines para realizar conexiones como se observa en las Figura 54 y Figura 55.

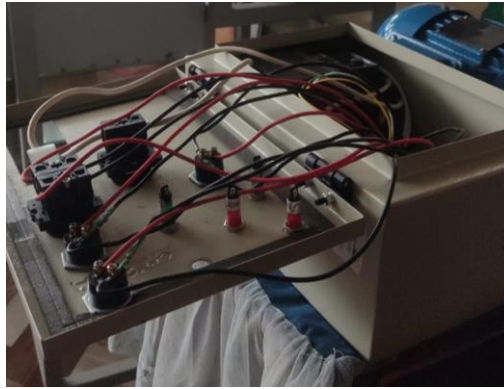


Figura 54. Conexiones a los botones y leds.



Figura 55. Conexiones de comunicación Variador/Arduino.

Como parte final se realiza la conexión de los sensores como lo son las galgas extensiométricas, el LCD y el teclado matricial 4x4 para así comprobar el funcionamiento del sistema de control, obteniendo así la implementación final como se observa en la Figura 56, Figura 57 y Figura 58



Figura 56. Conexión de sensores de peso.

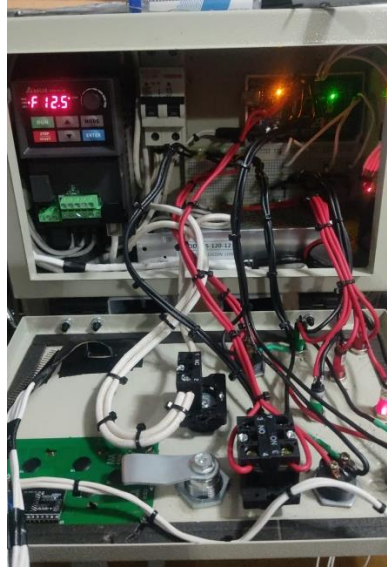


Figura 57. Conexión final del sistema de control.



Figura 58. Implementación final de la caja de control.

Tablero de control

Este tablero está diseñado para gestionar y monitorear el funcionamiento del molino eléctrico con control de peso en tiempo real. Este incluye un tablero prefabricado en el que se han integrado botones para funciones como encendido, apagado, ajuste de peso y selección de unidades (gramos y libras), además de LEDs indicadores para el estado del sistema y el motor. En el centro del panel se encuentra un display LCD de 20x4 que muestra el peso en tiempo real y la velocidad del motor en función del peso detectado como se observa en la Figura 59.

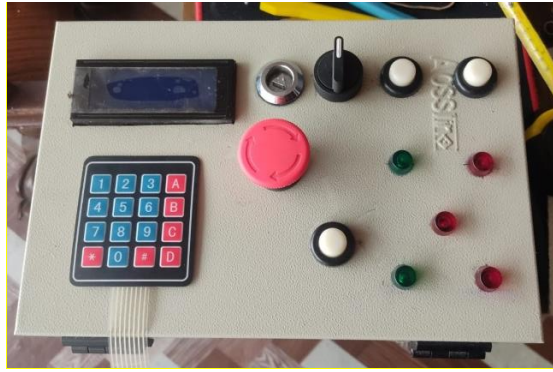


Figura 59. Tablero de control

El sistema de control de la maquina se realizó mediante programación utilizando el software de Arduino IDE, este software es muy fácil de utilizar y contiene varias librerías para que sea más dinámico su utilización, este programa es el mismo que el del controlador así que su compatibilidad es completa, en la Figura 60 se muestra la pantalla de programación del sistema de control.

```

Sistema_de_control
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <HX711_ADC.h>

// Definiciones para HX711
#define DT 3
#define SCK 2
HX711_ADC loadCell(DT, SCK);

// Definiciones para el display I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

// Pines de botones
#define BUTTON_ZERO 8
#define BUTTON_UNIT 11

// Pines del motor
#define MOTOR_PWM 9
#define MOTOR_DIR 10

// Variables globales
float peso = 0.0;
bool enLibras = false; // false: gramos, true: libras
const float factorConversion = 2.20462;

Compilado
El Sketch usa 6994 bytes (21%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 525 bytes (25%) de la memoria dinámica, dejando 1523 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

```

Figura 60. Programación en Arduino.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. Introducción

En esta sección se llevará a cabo un análisis económico de este proyecto, considerando aspectos clave como los costos asociados a la construcción, la adquisición de materiales y componentes principales, así como un estudio detallado sobre el retorno de inversión (ROI). A través de este análisis, se busca evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto, cuantificando los recursos necesarios y proyectando los beneficios en función del tiempo de operación. Este enfoque permitirá determinar si la implementación del molino eléctrico con control de peso en tiempo real resulta económicamente rentable bajo los parámetros de inversión y plazos establecidos.

4.2. Comprobación de la hipótesis

Para realizar la comprobación de la hipótesis se lleva a cabo la evaluación del sistema implementado para este proyecto mediante un análisis del desempeño del sistema de control integrado al molino de café. Las pruebas realizadas validan que el sistema funciona de manera eficiente y precisa, logrando controlar el pesaje de forma automatizada en tiempo real.

Esto se realiza en varios pasos como lo son:

Recolección de datos:

Las medidas obtenidas a través de los sensores de peso (galgas extensiométricas) fueron precisas y permitieron alcanzar el peso deseado en cada proceso. Aunque se observó una ligera variación en el peso registrado, esta variación es mínima y no afecta significativamente al procesamiento de datos. Se registraron los datos proporcionados por las galgas extensiométricas, verificando su estabilidad durante un uso continuo. Las mediciones mostraron desviaciones marginales dentro de un rango tolerable, esto no afecta de manera significativa al producto final.

Pruebas comparativas:

Se realizaron pruebas con el sistema automatizado y en el sistema convencional. Los resultados indicaron que el sistema mecatrónico ofrece una mayor precisión y reduce el tiempo del operario en pesar y llenar una funda con el producto final, mejorando así la eficiencia operativa. Por lo tanto, el sistema automatizado evidenció una mayor precisión de

peso teniendo en cuenta que el pesaje convencional se realiza con básculas de peso, en ocasiones el operador/usuario utilizando el método convencional termina dosificando un porcentaje mayor al requerido, también suelen ceder a la fatiga por la repetibilidad del proceso ya que en ocasiones tienen que mantener posturas incómodas para realizar la dosificación y pesaje del producto final, teniendo en cuenta esto el sistema automatizado se destaca por su capacidad de minimizar los errores humanos.

Con base a estos resultados obtenidos, se concluye que el sistema mecatrónico implementado mejora la precisión del pesaje, reduce las variaciones en las cantidades de café procesado y mejora la eficiencia operativa del proceso, teniendo en cuenta que el proyecto cuenta con una regulación de velocidad el sistema puede mejorar tiempos de producción o alargar tiempo de vida de piezas de la máquina. Por esto, la hipótesis ha sido verificada y el problema planteado ha sido solucionado, reduce las variaciones en la cantidad de café procesado y mejora la eficiencia operativa general.

4.3. Comprobación de Resultados

En la comprobación de resultados se aplica un proceso dividido en varias etapas como:

Instalación y calibración del sistema:

Se instaló el sistema de control, incluyendo las galgas extensiométricas, botoneras, LCD y variador de frecuencia. Posteriormente, se realizó la calibración mediante pesos ya conocidos y comparando valores obtenidos de los sensores para una precisión en el peso, durante la calibración se usó un rango de pesos de 1kg a 12 kg como se observa en la Tabla 21, obteniendo un coeficiente de correlación de 99,8% entre el peso real y el medido en la calibración.

Tabla 21. Pesos de calibración.

Peso Real (kg)	Peso Medido (kg)	Error (%)
1	1,02	20
6	5,98	0,33
9	8,97	0,33
12	12,03	0,25

Pruebas operativas básicas:

Se realizaron pruebas bajo condiciones controladas y específicas para evaluar el desempeño del sistema en cuestión de la precisión del pesaje, estabilidad y tiempos de respuesta. Con estas pruebas se registraron mediciones continuas y se analizó las variaciones en el pesaje, El promedio del tiempo de respuesta en el pesaje de los sensores fueron de 0,8 segundos por lectura, este dato es obtenido gracias al programa Arduino IDE y verificación en el monitor serial, esto asegura una rápida detección de cambios de peso.

Análisis de datos:

Los datos obtenidos fueron procesados y analizados por herramientas estadísticas en el Excel como la media, desviación estándar y coeficiente de variación, la desviación estándar promedio es de 0,005 kg, mientras que el coeficiente de variación se mantuvo debajo de 0,5% lo que no afectaría a la precisión de las mediciones como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22. Coeficiente de variación.

Peso Real (kg)	Media (kg)	Desviación Estándar (kg)	Coeficiente de Variación (%)
5.00	4.98	0.004	0.08
10.00	9.98	0.005	0.05
12.00	12.02	0.006	0.05

Pruebas en condiciones reales:

El sistema es sometido a pruebas reales similares a un entorno de producción cotidiano, verificando su capacidad para mantener su precisión y funcionamiento correcto en la repetibilidad en el pesaje.

Evaluación general:

Se documentan los resultados en tablas, así como en los anteriores apartados, destacando la reducción en los tiempos de procesamiento, la mejora en precisión del pesaje y la capacidad para minimizar errores humanos. Además, se valida la eficiencia del sistema en condiciones operativas.

4.4. Análisis de costos en la implementación del proyecto

En este apartado se tendrán en cuenta los costos de fabricación de la máquina, teniendo en cuenta los apartados mecánicos, electrónicos y la mano de obra utilizada para realizar ensamblajes o componente necesarios para la máquina.

4.4.1. Costos directos

Los costos directos toman en cuenta todos los componentes principales para la realización del proyecto, es decir, los componentes mecánicos, eléctricos y de control como se observa en la Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 23. Costos de materiales mecánicos.

Cantidad	Descripción	Precio C/U [\$]	Total [\$]
2	Tubo cuadrado, ASTM A36, 4000mm	8,50	17,00
1	Plancha de acero AISI 304, 1220 x 2440, espesor 0,7mm	23,00	23,00
50	Pernos, rodela y tuerca	0,15	7,50
10	Tornillos milimétricos M4 y tuercas	0,45	4,50
10	Tornillos milimétricos M5 y tuercas	0,50	5,00
1	Caja de tornillos milimétricos	3,65	3,65
1	Cajetín eléctrico	25,00	25,00
1	Molino corona	35,00	35,00
Total			120,65

Tabla 24. Costos de materiales eléctricos y de control.

Cantidad	Descripción	Precio C/U [\$]	Total [\$]
1	Motor trifásico Weg 1HP	150,00	150,00
1	Variador de frecuencia de 1HP marca delta, alimentación 220v	130,00	130,00
1	Arduino mega 2560 R3	27,00	27,00
1	Modulo RS485	3,00	3,00
2	Galgas extensiométricas 20kg	12,00	24,00
1	Display LCD 20x4 con I2C	8,00	8,00
1	Teclado matricial 4x4	2,00	2,00
3	Botones/Pulsadores	2,00	6,00
1	Selector CAMSCO 2 posiciones plástico 22mm	4,00	4,00
1	Pulsador paro de emergencia 22mm rojo NC	4,50	4,50
2	Modulo amplificador sensor de peso Hx711	3,90	7,80
1	Nema 17 Stepper Motor 40mm 1,2A	18,50	18,50
1	Fuente de alimentación 12v 10A 120W	15,50	15,50
1	Cable Rj-45 1000mm	2,00	2,00
1	kit de resistencias 1k, 10k	2,50	2,50
2	Tubos de estaño de 1mm	4,00	4,00
5	Indicador de luz piloto rojo y verde	1,15	5,75
		Total	414,55

4.4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos tienen que ver con costos adicionales en la fabricación de la maquina como lo son servicios para ayudar a su correcta fabricación como se observa en la Tabla 25.

Tabla 25. Costos indirectos.

Cantidad	Descripción	Precio C/U [\$]	Total [\$]
1	Impresión 3D	7,00	7,00
1	Paquete de amarraderas 100 unidades	1,50	1,50
3	Regleta x 40 pines macho a macho	0,50	1,50
1	kit termo retráctil	8,00	8,00
1	Soldadura	20,00	20,00
1	Plegado	10,00	10,00
1	Maquinado del acople	20,00	20,00
Total			68,00

4.4.3. Costo total

El costo total muestra la inversión que se realizó para la construcción para el molino automatizado con control de peso, se tiene que considerar la mano de obra en el mismo como se observa en la Tabla 26.

Tabla 26. Costo total.

Costo	Precio [\$]
Directo	535,20
Indirecto	68,00
Mano de obra	250
Total	853,20

4.5. Análisis económico

El análisis económico se lleva a cabo mediante el uso de indicadores financieros como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), los cuales son fundamentales para evaluar la rentabilidad y la viabilidad de un proyecto de inversión, en este caso, el molino automatizado con control de peso.

Se estima una inversión de \$1100, este valor se debe al costo de la máquina que es de \$853,20. Luego hay que tener en cuenta el costo de producción es decir la materia prima y sus complementos tales como los que se observa en la Tabla 27, hay que tener en cuenta que estos valores siempre varían dependiendo de marcas y sectores en los que se pueda conseguir.

Tabla 27. Costo de producción de 15kg de café molido.		
Costos de producción para 15kg de café molido		
Cantidad	Descripción	Costo
15	Café en grano en kg	132,00
1	Rollo de fundas	3,50
1	Paquete de funda de halar	4,00
--	Luz (tarifa kWh)	0,10
Total		139,60

Para tener el desembolso inicial se debe tener en cuenta la Tabla 26 y Tabla 27, sumando estos valores se tiene un valor de \$992,80, cabe aclarar que será utilizada en una tienda familiar no se tendrá en cuenta la mano de obra.

Con estos valores del desembolso inicial de \$992,80 y una inversión inicial de \$1100 se realizan los cálculos mediante Excel, teniendo en cuenta que se planea realizar la molienda de 15kg cada dos semanas, esto significa que al mes se tiene una producción de 30kg, se estima una venta del 40% del total producido a un precio de \$11,00 por 1kg de café molido, obteniendo una ganancia de mensual de \$66 y un valor de \$792 anual, estos datos son gracias a estimaciones de venta y datos sobre las ventas en dicha tienda, con estos valores se calcula el VAN que se observa en la Tabla 28.

Tabla 28. VAN.			
VAN			
Rentabilidad	40%		
Inversión \$	1100		
Año	Cobros	Pagos	Flujo de caja
0			-1100
1	792,00	139,60	652,40
2	794,14	142,40	651,74
3	784,67	136,38	648,29
VAN			798,25

Con los mismos datos obtenidos en la tabla de VAN se realiza el cálculo para TIR como se observa en la Tabla 29 al igual que VAN mediante el uso de una calculadora [36].

Tabla 29. TIR.			
TIR			
Inversión \$	1300		
Mes	Cobros	Pagos	Flujo de caja
0			1100
1	792,00	139,60	652,40
2	794,14	142,40	651,74
3	784,67	136,38	648,29
4	798,25	138,94	659,31
TIR			46,39%

Con el resultado de TIR que es de 46,39% se observa que el proyecto es viable en términos económicos y así asegurar su funcionalidad.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema automatizado para molienda de café con una capacidad de hasta 12kg, incorporando un molino y un sistema de pesaje en tiempo real. Este sistema utiliza un control automatizado para optimizar los tiempos de producción y garantizar precisión en cada proceso. La capacidad del sistema se calculó teniendo en cuenta los parámetros que eran de 12kg, se eligieron los componentes adecuados para un buen funcionamiento. El motor seleccionado con una potencia de 1Hp y 1730rpm, junto con el uso de un variador de frecuencia para controlar la velocidad de manera controlada y sin pérdida de torque aseguran el rendimiento esperado.
- Se construyó una máquina mecatrónica, tomando en cuenta los lineamientos técnicos y operativos establecidos en la etapa de diseño. El sistema se contiene componentes mecánicos, electrónicos y de control, tales como un motor trifásico WEG de 1Hp, galgas extensiométricas para el pesaje en tiempo real, un sistema de control que lo automatiza un controlador Arduino mega 2560, que gestiona tanto el proceso de molienda como el de pesaje de manera sincronizada. Para garantizar la durabilidad y resistencia de la máquina se utilizaron materiales de alta calidad y se tuvo en cuenta las dimensiones establecidas para contener 12kg en las tolvas, gracias al variador de frecuencia se regula y optimiza el funcionamiento del motor evitando sobrecargas y asegurando un rendimiento constante durante el proceso.
- Las pruebas de campo fueron necesarias para asegurar el funcionamiento correcto y cumplimiento de los objetivos de diseño. Durante estas pruebas, se comprobó que el proceso de molienda se llevaba a cabo de manera continua y eficiente, incluso con la carga máxima de 12kg, sin afectar al peso preciso de las galgas extensiométricas. Se evaluó la interacción entre los sistemas de molienda, pesaje y dosificación verificando que el motor ajustara su velocidad correctamente y que los sensores de peso entreguen lecturas precisas mejorando significativamente los tiempos de producción, estos resultados demuestran que el sistema cumple con las expectativas, operando de manera óptima en las condiciones de funcionamiento ya definidas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar calibraciones periódicas para las galgas extensiométricas para una buena precisión y consistentes. Esto asegura el buen funcionamiento del sistema de pesaje.
- Reducir el tamaño de la estructura puede ayudar a que la máquina sea utilizada por cualquier tipo de persona sin necesidad de ayuda para colocar el café en grano.
- Se podría reducir la potencia del motor hasta 1/2Hp para así abaratar costos y que sea más accesible en caso de necesitar un cambio, para esto se debería integrar un sistema de transmisión de potencia.
- Colocar una placa de conexiones para evitar cables innecesarios y que la máquina tenga una ergonomía mucho mejor.
- Utilizar un cajetín eléctrico más grande para mejorar la distribución de los componentes eléctricos y de control teniendo así mayor ventilación y mejorar su vida útil.
- Se recomienda realizar revisiones periódicas tanto de las conexiones como de los motores y sistema eléctrico para evitar mal funcionamiento del mismo.

REFERENCIAS

- [1] “MAGAP ejecuta ‘Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana’ – Ministerio de Agricultura y Ganadería”. Consultado: el 16 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- [2] Forum Café, “El café en Ecuador”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaforumcafe.com/el-cafe-en-ecuador>
- [3] E. Figueroa, F. Pérez, y L. Godínez, *La producción y el consumo del café*. 2012. [En línea]. Disponible en: www.ecorfan.org/spain
- [4] aditia edy Utama, “ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS DE LAS EMPRESAS ECUATORIANAS EXPORTADORAS DE PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS”, pp. 1–14, 2017.
- [5] “MAGAP ejecuta ‘Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana’ – Ministerio de Agricultura y Ganadería”. Consultado: el 9 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- [6] “Variedad de café”, [En línea]. Disponible en: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- [7] Federación Nacional de cafeteros, “Descripción del proceso productivo y del beneficio del café. Guía tecnológica del cultivo.”, *Guía Ambiental para el Sector Cafetero*, pp. 51–80, 2006, [En línea]. Disponible en: <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>
- [8] J. Romero y J. Camilo, *Manual de producción sostenible de café*. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>
- [9] I. N. A. de I. A. (INIAP), “MANUAL DEL CULTIVO DEL CAFE INIAP-Estación Experimental Pichilingue”, vol. 1, núm. Manual del cultivo del café, p. 223, 1993.
- [10] A. C. Pozo, “Análisis de los factores que inciden en la producción de café en el Ecuador 2000 – 2011”, *Facultad De Economía*, p. 80, 2014.
- [11] C. Disertaci y N. Internacionales, “Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en Negocios Internacionales El sector cafetalero ecuatoriano y su orientación hacia la exportación , periodo 2015 – 2021”, 2022.
- [12] “¿Por qué Ecuador importa tanto café? - Perfect Daily Grind Español”. Consultado: el 11 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://perfectdailygrind.com/es/2022/03/07/por-que-ecuador-importa-tanto-cafe/>
- [13] “COMPOSICIÓN DEL FRUTO DEL CAFÉ - | Coffee Media ✓”. Consultado: el 2 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/06/05/composicion-del-fruto-del-cafe/>
- [14] G. Inés y P. Quintero, “Factores de origen y proceso en la calidad y la química del café Origin and process factors on the quality and chemistry of coffee”.
- [15] M. E. Gonzalez-trujano, “Molino de Rodillos”. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://molinoderodillos.com/#:~:text=Funcionamiento del Molino de Rodillos&text=En el caso de los,a velocidades iguales o diferentes.>
- [16] “Molino especial discos de piedra - FAIRUZ”. Consultado: el 9 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fairuzequiposecuador.com/producto/molino-ed-especial-discos-de-piedra-2hp110v-3hp220v-mod-ed002/>
- [17] Matin Coba, “Molino de discos”, *Comportamiento Operativo y Características Mecánicas*, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.siebtechnik-tema.es/molino-de-discos/>
- [18] A. Vazzana, “MOLINO DE MARTILLOS”, *La última innovación simplemente más inteligente.*, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://molinosymezcladoras.com.mx/molinos-de-martillo.html#:~:text=Su mecanismo emplea una lluvia,acuerdo a la granulometría estimada.>
- [19] “Capitulo9”.

- [20] “Motores de corriente directa (C.D.) 1. Introducción 2. Motor de corriente continua 2.1 Fundamentos de operación. 2.2 Tipos de motores de corriente continua. 2.2.1 De Imán Permanente. 2.2.2 De Electroimán. 3. Clasificación de los motores de Corriente Continua según la forma de excitación. 3.1 Excitación independiente. 3.2 Autoexcitados. 3.2.1 Serie. 3.2.2 Paralelo o shunt 3.2.3 Compuesto (serie-paralelo). 4. Partes fundamentales de un motor de corriente continua. 4.1.1 Mecánicas 4.1.2 Eléctricas”.
- [21] “¿Qué es un motor monofásico? Características, tipologías y aplicaciones | S&P”. Consultado: el 18 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-monofasico/>
- [22] “Artículo técnico”.
- [23] “¿Cómo funciona un Reductor o Motorreductor?”.
- [24] “Ficha-Técnica-Acero-Inoxidable-304-iirsacero”.
- [25] “Acero ASTM A36: características, propiedades, análogos - Metinvest”. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>
- [26] “Galgas Extensiométricas Strain Gages 1”.
- [27] “ARDUINO – Blog de Tecnologías”. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>
- [28] E. ORO -ECUADOR Folleto Técnico de FUSIBLES y I. Bryan Gerardo Salvatierra Cáneppa, “ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO ISMAEL PÉREZ PAZMIÑO FOLLETO TÉCNICO FUSIBLES Para estudiantes de Tecnología Superior AUTORES”.
- [29] Página, “Botones Pulsadores y Lumitorres”.
- [30] “Celda de Carga 5Kg”. Consultado: el 26 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores/155-celda-de-carga-5kg.html>
- [31] “Arduino Mega 2560 Rev3 — Arduino Official Store”. Consultado: el 26 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [32] “¿Qué es un variador de frecuencia y cómo funciona?” Consultado: el 13 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://emotronelfi.es/que-es-un-variador-de-frecuencia/>
- [33] “Variador de Frecuencia VFD015EL43A Delta Electronics”. Consultado: el 13 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://deltaelectronicsdistribuidor.com/vfd015el43a/>
- [34] “IDE Arduino y Configuración | Aprendiendo Arduino”. Consultado: el 26 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/18/ide-arduino-y-configuracion/>
- [35] “Portal de conocimiento ::Inicio”. Consultado: el 6 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/home>
- [36] “Calculadora de VAN y TIR | Calcuvio”. Consultado: el 4 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.calcuvio.com/van-tir>

ANEXOS

PLANOS DE FABRICACION

Manual de Operación y mantenimiento

Manual de operación:

- Encendido del sistema.
- Conecte el sistema a la red eléctrica de 220v.
- Asegúrese que el elegir la velocidad que desea usar ya que tiene 3 velocidades disponibles.
- Observar que las luces piloto (Start, Stop, Start 2, dosificación y Stop 2) tengan un funcionamiento correcto.
- Configurar el peso que se desea obtener.
- Use el teclado matricial para ingresar el peso necesario, tiene un límite establecido de 12kg, los valores se mostrarán en el LCD.
- Este sistema permite cambio de unidades entre libras y kilogramos que son los pesos convencionales mediante el botón correspondiente.
- Existe un botón para tarar el sistema es decir los sensores quedarían en cero y se podría medir contenidos dentro de envases.
- Operación del molino
- El motor trifásico empezará su funcionamiento una vez que elija el peso deseado y presione el botón Start.
- El variador de frecuencia regula la velocidad del motor para asegurar que el café sea procesado fácil y eficientemente.
- Apertura de la compuerta de dosificación.
- Cuando el café sea procesado y el pesaje se haya completado, se presiona el botón Start 2 y el motor nema 17 se activará para abrir la compuerta inferior, permitiendo la dosificación del café y encendiendo el led de dosificación.
- El motor trifásico se apagará de manera automática al alcanzar el peso deseado, mientras que el sistema de dosificación continua según sea necesario.
- Para iniciar un nuevo proceso presione el botón reset en el teclado matricial 4x4

o ingrese un nuevo peso.

Precauciones generales

- Antes de realizar un mantenimiento, debe asegurarse de desconectar la red eléctrica para evitar descargas eléctricas ya que se usa 220v.
- Utilice equipo de protección.
- Coloque etiquetas y bloqueos en los interruptores principales para evitar un encendido accidental.
- No debe aplicar demasiada fuerza en componentes como tornillos, cables o conexiones eléctricas ya que podría dañar los componentes.
- Luego de acabar un mantenimiento debe verificar el correcto funcionamiento de la máquina para evitar problemas en medio de la producción.

Manual de mantenimiento

Un buen mantenimiento ayuda a la durabilidad y efectividad de la maquinaria en estancias de procesos largos.

Mantenimiento general

- Asegúrese que el motor trifásico del molino y el motor nema estén funcionando correctamente con sus indicadores de luces piloto para evitar trabas.
- Realice una limpieza superficial del sistema, para evitar polvo o residuos que interfieran con los sensores de peso, los motores y la compuerta dosificadora.
- Compruebe que las galgas estén correctamente fijadas y que no se observen señales de desgaste o daño.

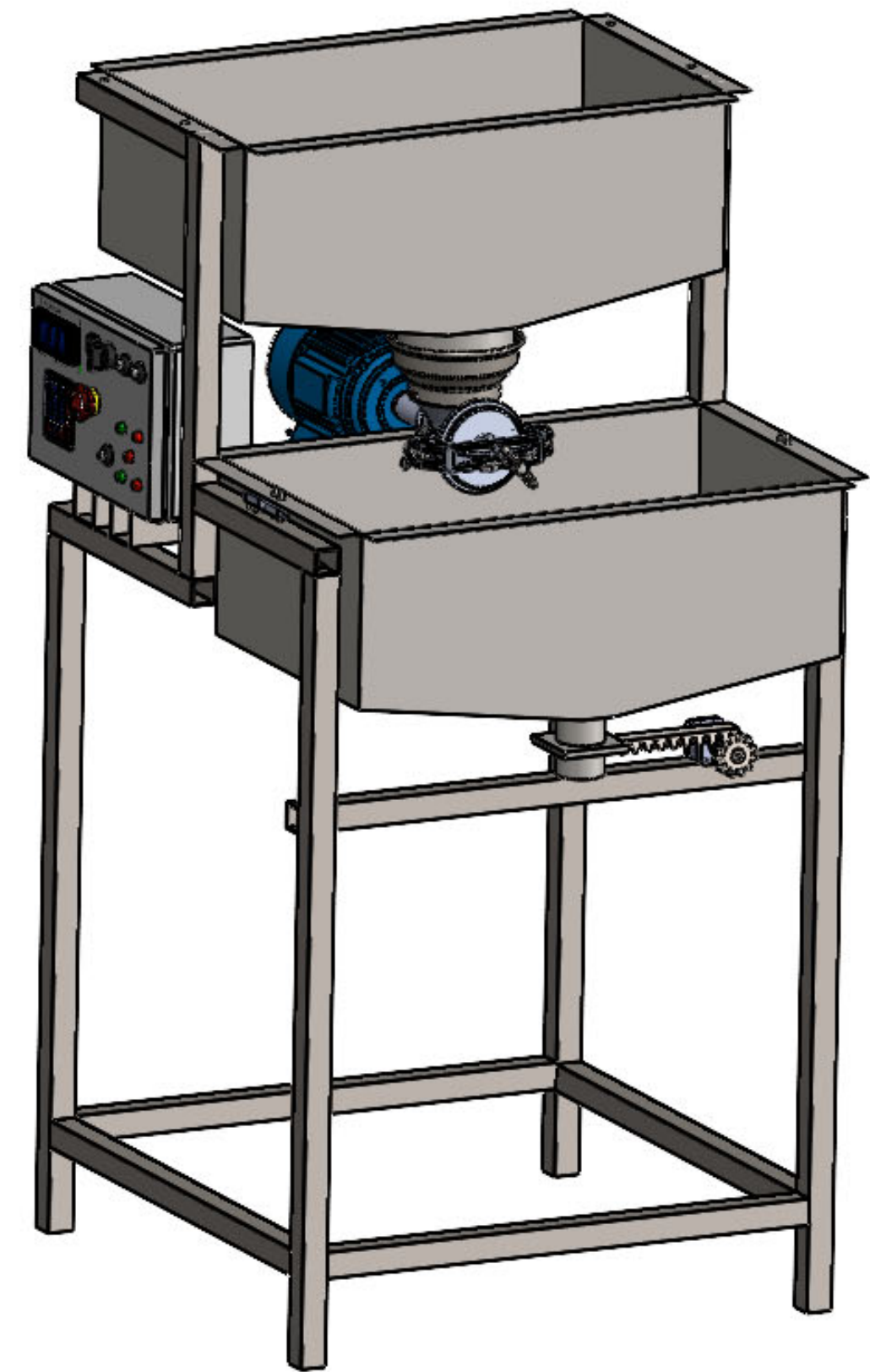
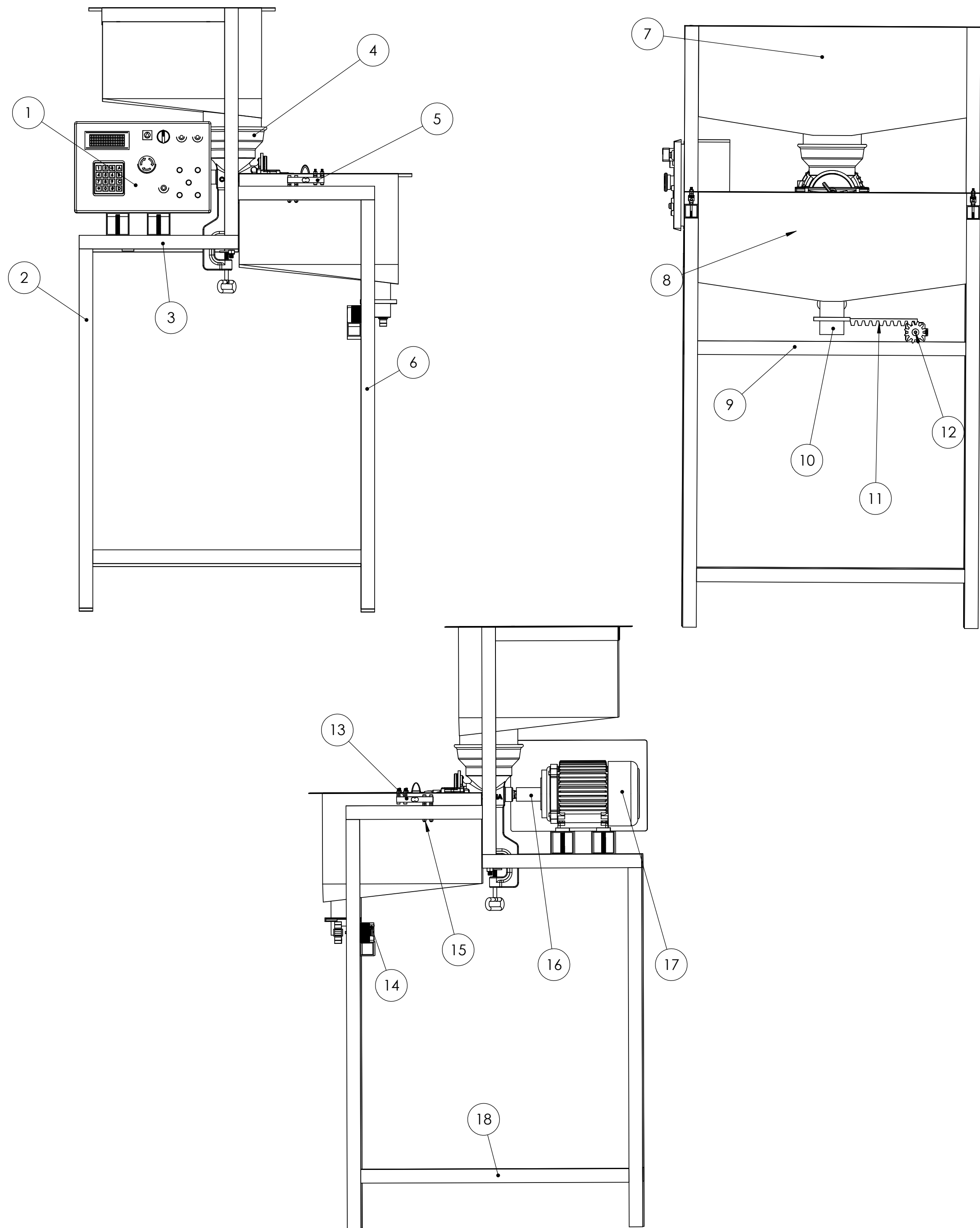
Mantenimiento interior

- Realizar una recalibración del sistema para garantizar la precisión del pesaje.
- Verificar el motor trifásico en busca de signos de desgaste en su eje o fallo, pueden ser ruidos extraños o sobrecalentamiento, teniendo en cuenta que tiene un ventilador se podría observar que su ventilador se encuentre en óptimas condiciones que no tenga ninguna obstrucción.

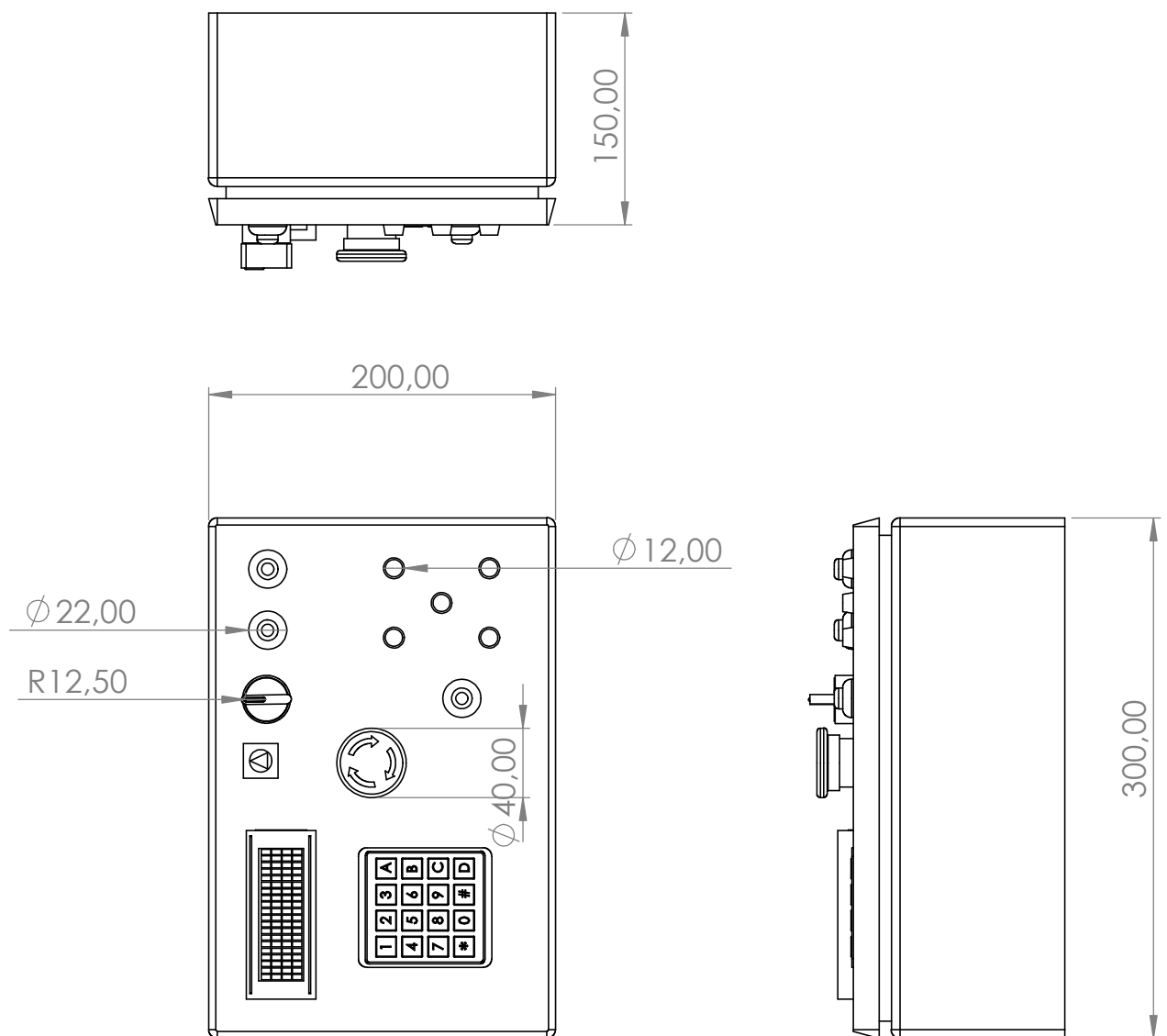
- Verificar el correcto funcionamiento del motor nema para un buen funcionamiento de la compuerta tanto en su apertura como en su cierre.
- La limpieza debería ser más profunda en lugares como los sensores de peso y en el cajetín de control ya que se encuentran todos los componentes de control.
- Actualización del software de Arduino o variador de frecuencia para verificar su compatibilidad y conexión segura.

Recomendaciones para mantenimiento

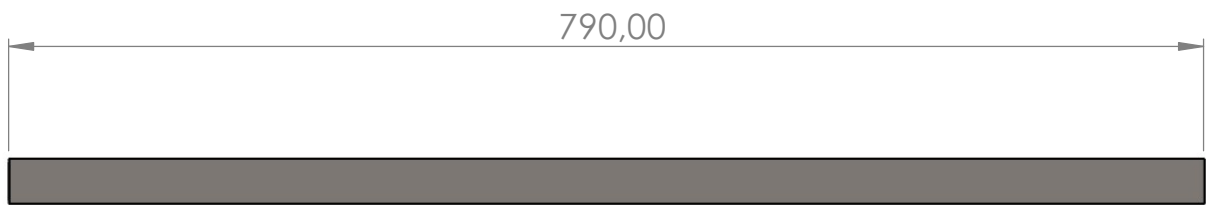
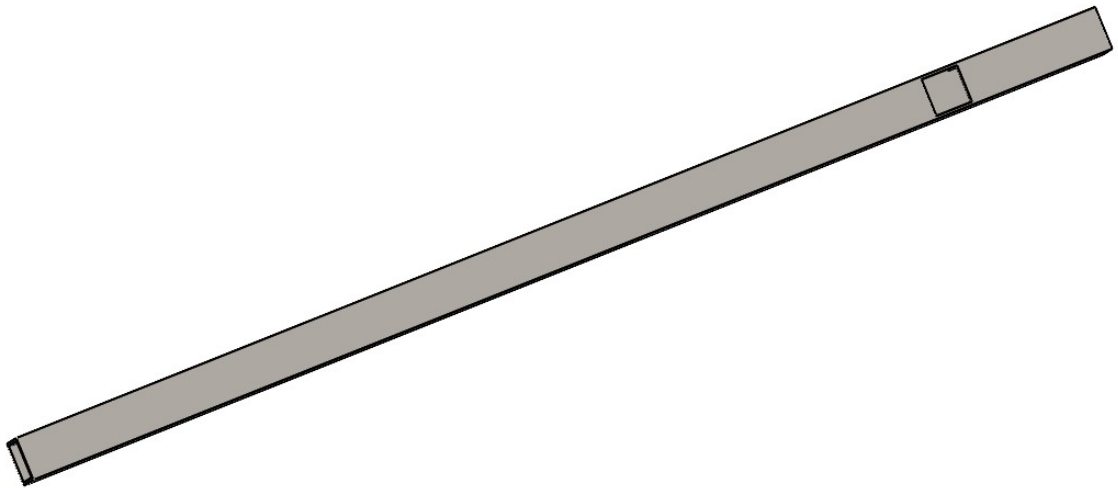
- Verificar la alineación del motor con el molino para evitar vibraciones y desgaste prematuro del acople que cumple la función de transmisión de potencia.
- Mantener las ranuras de ventilación del motor y del variador de frecuencia limpias para evitar sobrecalentamiento.
- Recalibrar cada mes las galgas o verificar su precisión con pesos conocidos.
- Tener cuidado con derramamientos de líquidos cerca de los componentes eléctricos.
- Verificar que todos los tornillos estén bien sujetos ya que por vibraciones podrían ceder los componentes.
- Limpiar el cajetín de control y el LCD con un paño seco para así evitar que entre humedad a los componentes eléctricos.



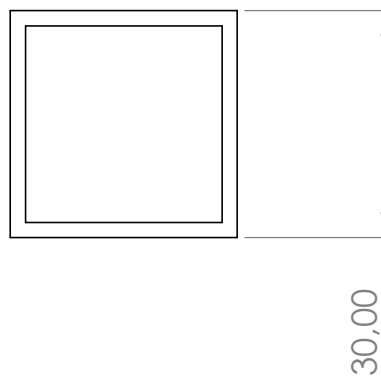
18	Tubular lateral inferior	1	10.1732663.001.012	ASTM 36	590 x 30	Fond anticorrosivo
17	Motor trifásico	1	IEC 60034	Hierro fund	450 x 300 x 300	
16	Acople de transmisión	1	DIN 740	ASTM 36	55 x 30	
15	Tornillo milimetrico M5	4	SAE J429	Acero	M5 x 80	Galvanizado
14	Motor NEMA 17	1	NEMA	Aluminio	12.3 x 48	
13	Galga extensiométrica 2	1	10.1732663.001.011	Aluminio	80 x 12.7 x 12.7	
12	Piñon	1	ISO 606	PETG	Ø2.5 x 25 x 12	
11	Cremallera	1	ISO 606	PETG	225 x 75	
10	Acople compuerta	1	10.1732663.001.010	PETG	80 x 80 x 38	
9	Tubular compuerta	1	10.1732663.001.009	ASTM 36	650 x 30	Fond anticorrosivo
8	Tolva inferior	1	10.1732663.001.008	ISO 304	590 x 350 x 200	
7	Tolva superior	1	10.1732663.001.007	ISO 304	590 x 350 x 200	
6	Tubular pie delantero	2	10.1732663.001.006	ASTM 36	900 x 30	Fond anticorrosivo
5	Galga extensiométrica 1	1	10.1732663.001.005	Aluminio	80 x 12.7 x 12.7	
4	Molino corona	1	10.1732663.001.004	Hierro fund	12.2 x 231 x 269	
3	Tubular central	2	10.1732663.001.003	ISO 304	350 x 30	Fond anticorrosivo
2	Tubular pie trasero	2	10.1732663.001.002	ISO 304	790 x 30	Fond anticorrosivo
1	Cajetin electrico	1	10.1732663.001.001	Aluminio	300 x 250 x 150	
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dim. Brutas	Observaciones
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA			U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
				Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
Plano de conjunto: Molino Automatizado de Café			Escala: 1:7	Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
				Código:	10.1732663.001	Tol. Gral.: ± 0.4



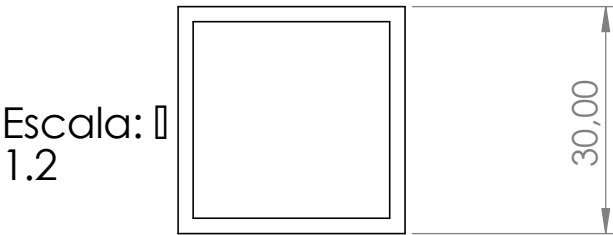
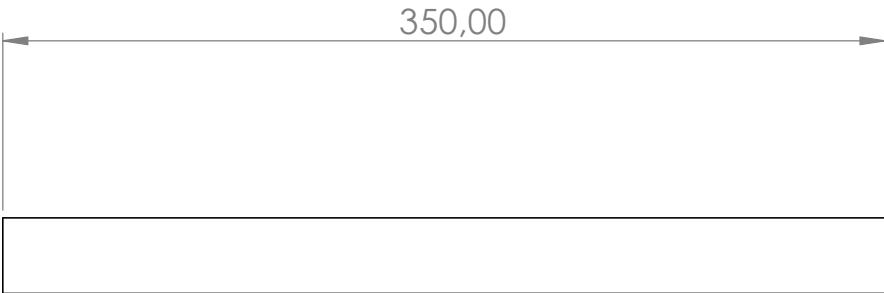
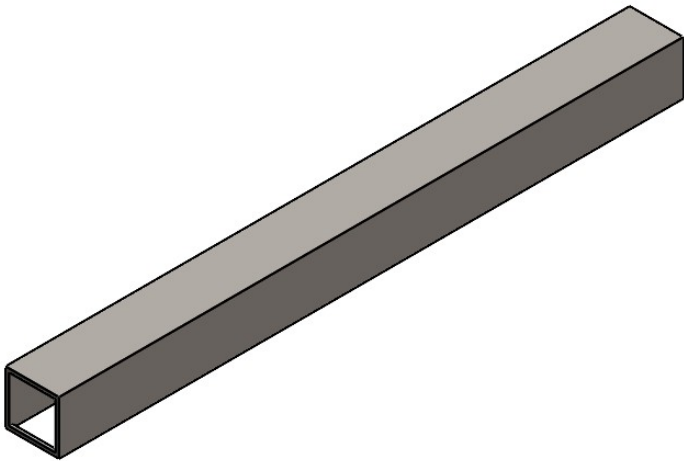
Tratamiento térmico	NA	Material:	AISI 304	Dim. brutas: 300x200x150 mm
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Cajetin electrico	Escala: 1:4	Código:	10.1732663.001.001	Tol. Gral: ± 0.4



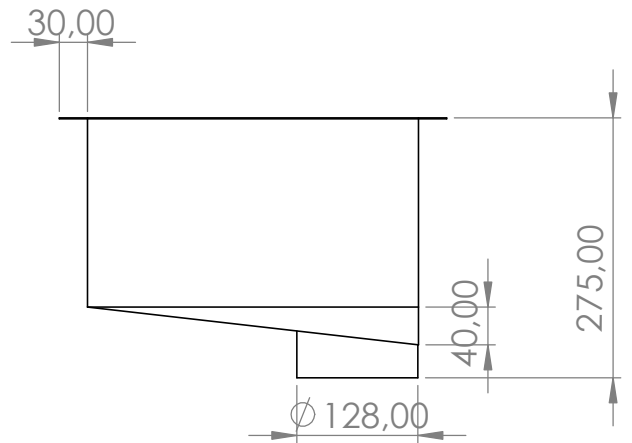
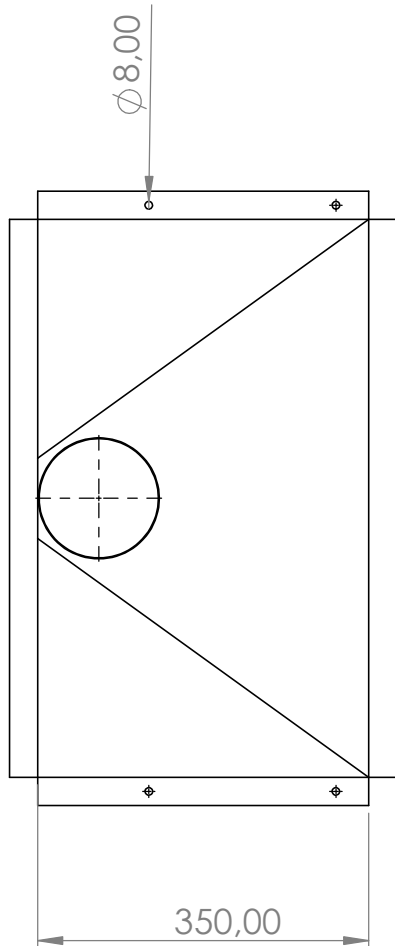
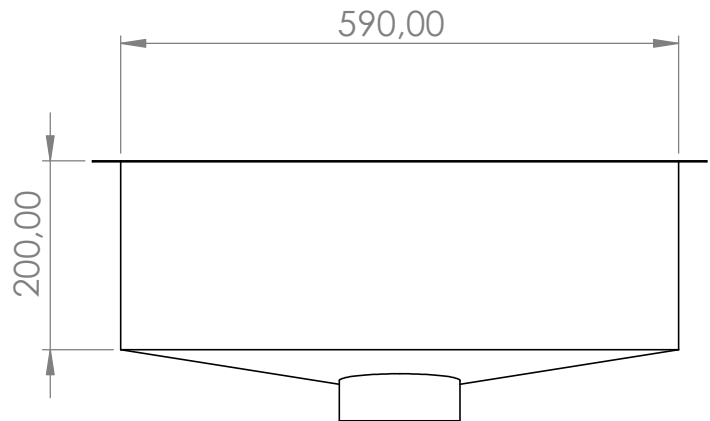
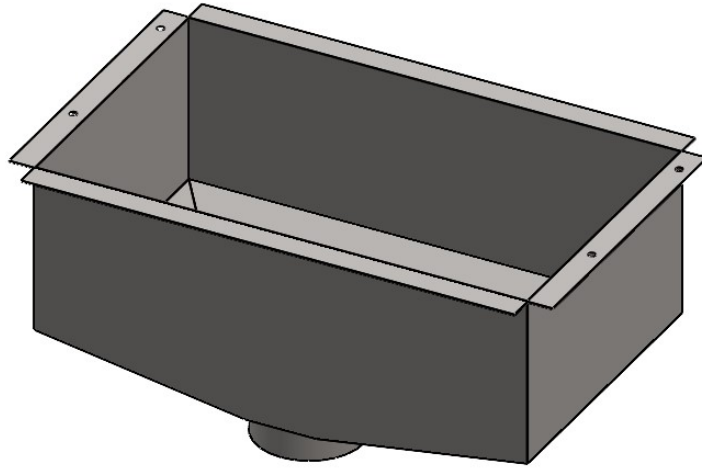
Escala:
1:1



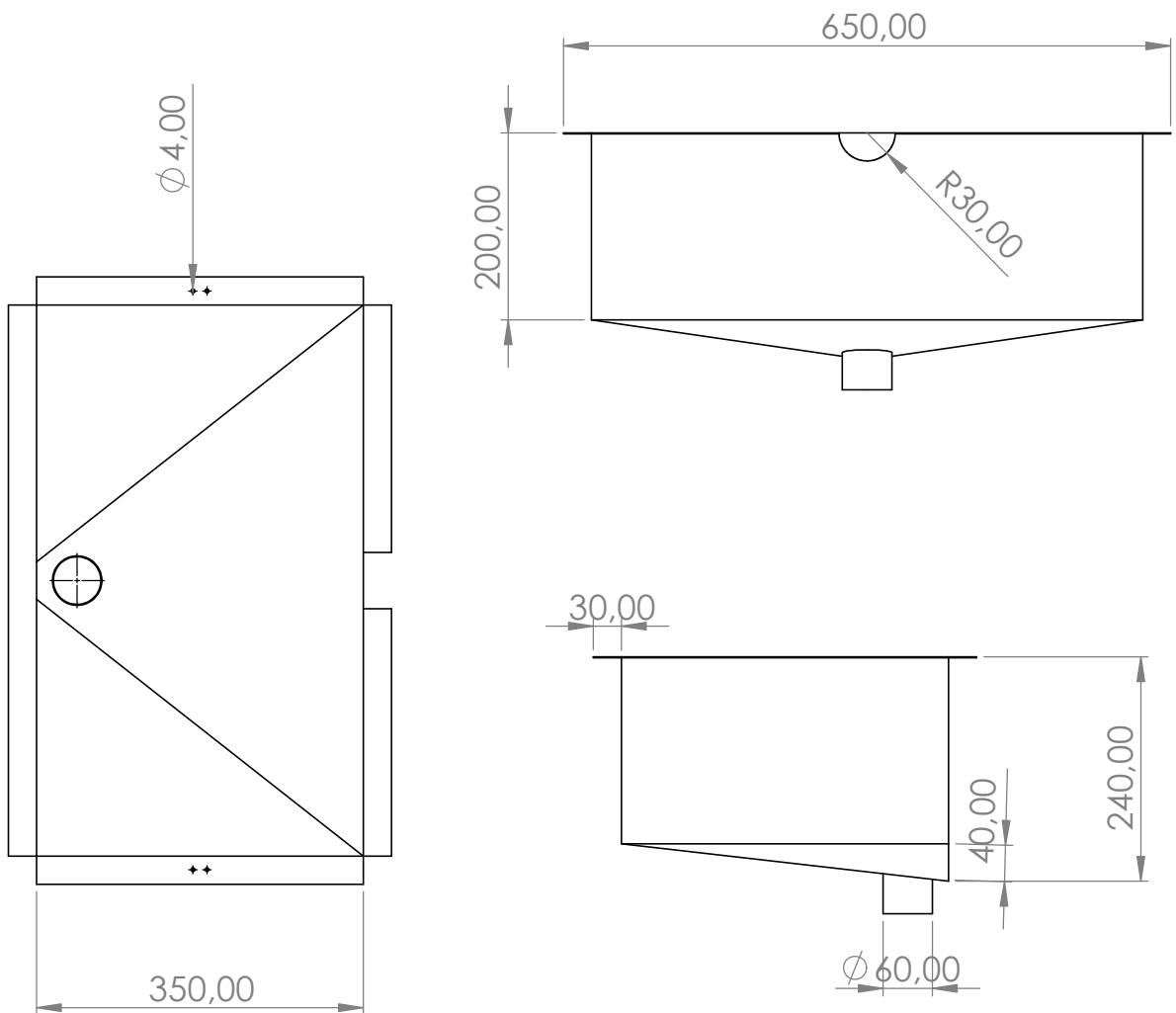
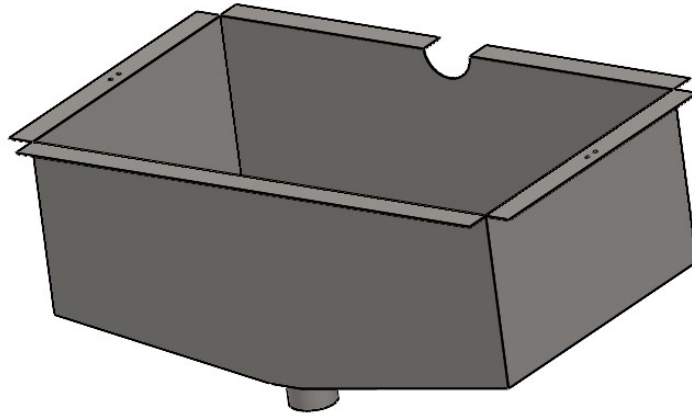
Tratamiento térmico	NA	Material:	ASTM A36	Dim. brutas: 790 x 30
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Tubular trasero	Escala: 1:5	Código:	10.1732663.001.002	Tol. Gral: ± 0.4



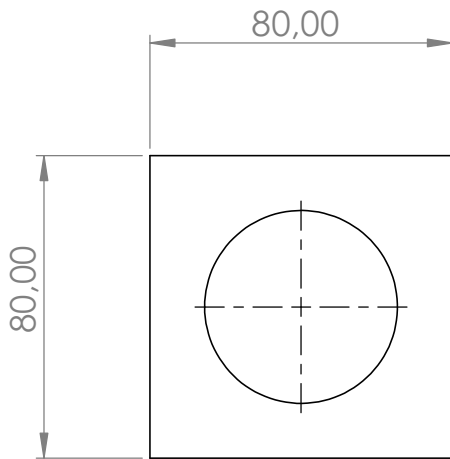
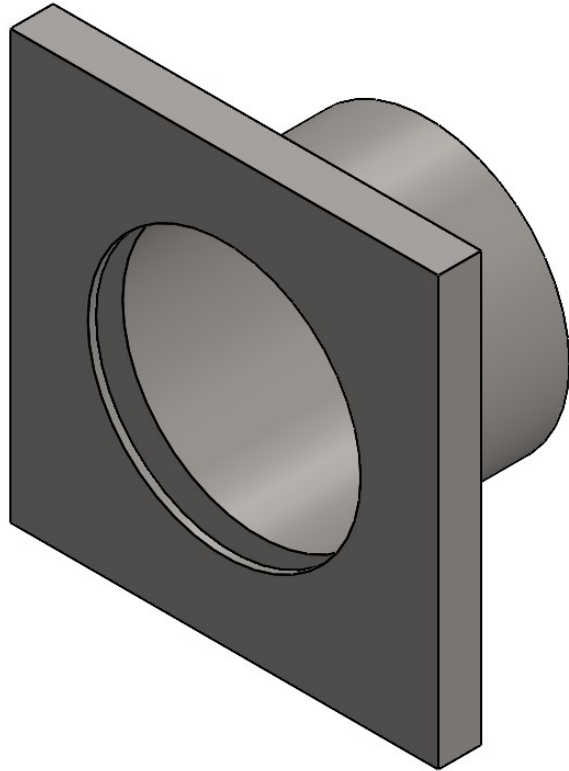
Tratamiento térmico	NA	Material: ASTM A36		Dim. brutas: 350 x 30
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Tubular central	Escala: 1:3	Código:	10.1732663.001.003	Tol. Gral: ± 0.4



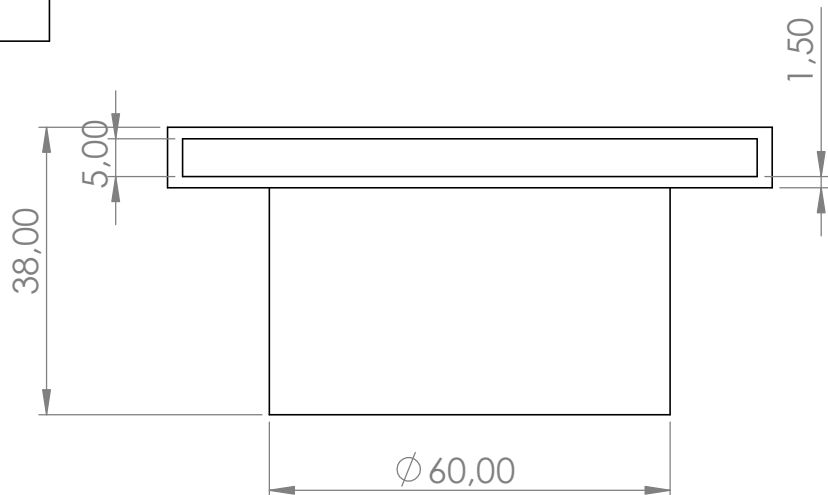
Tratamiento térmico	NA	Material:	AISI 304	Dim. brutas: 590 x 350 x 200
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Tolva superior	Escala: 1:8	Código:	10.1732663.001.007	Tol. Gral: ± 0.4



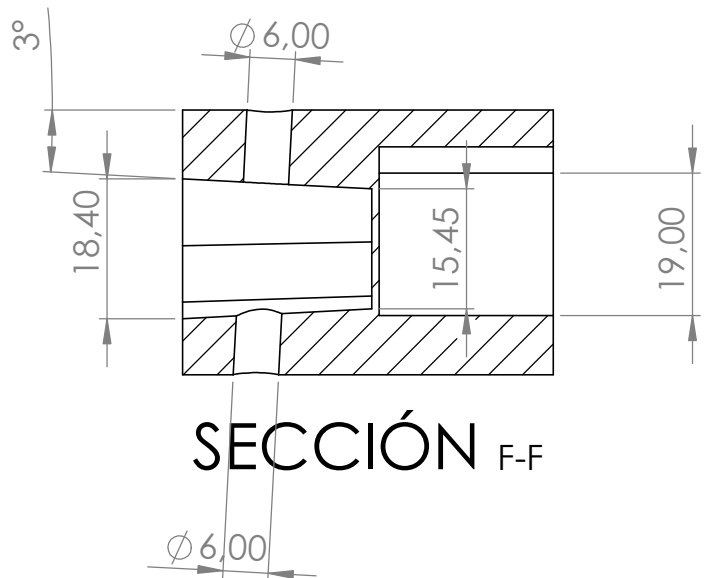
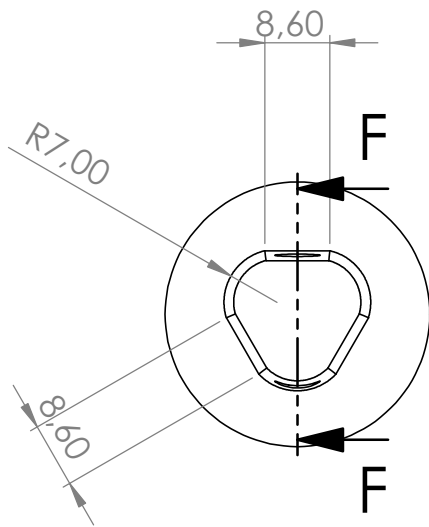
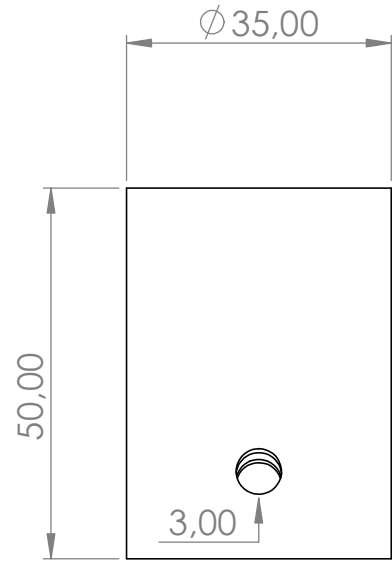
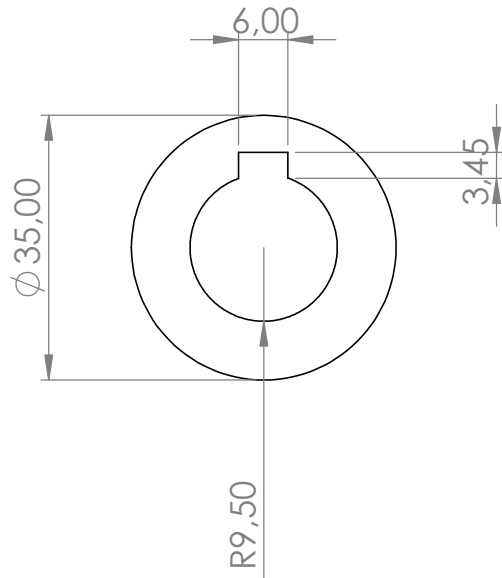
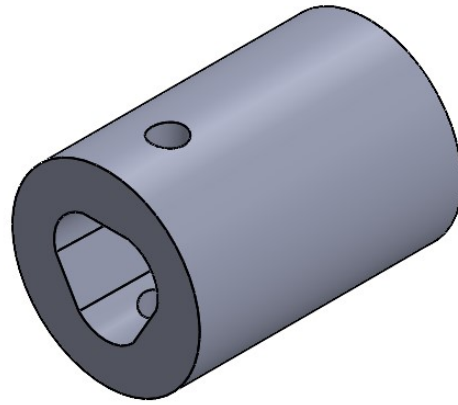
Tratamiento térmico	NA	Material:	AISI 304	Dim. brutas: 590 x 350 x 200
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Tolva inferior	Escala: 1:8	Código:	10.1732663.001.008	Tol. Gral: ± 0.4



Escala:
1:2



Tratamiento térmico	NA	Material:	PETG	Dim. brutas: 80 x 80 x 38
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Acople compuerta	Escala: 1:1	Código:	10.1732663.001.010	Tol. Gral: ± 0.4



Tratamiento térmico	NA	Material:	Hierro fundido	Dim. brutas: 55 x 30
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	U.P.S	Diseño:	Barahona Javier	2025-01-09
		Dibujó:	Barahona Javier	2025-01-09
		Revisó:	Ing. Patricio Quitiaquez MSc.	2025-01-09
Acople de transmisión	Escala: 1:1	Código:	10.1732663.001.011	Tol. Gral: ± 0.4