



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DEL
TAMAÑO DE GRANO PARA UN MOLINO ELÉCTRICO DE
GRANOS SECOS SVM-160

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

AUTOR: JONATHAN ALEXANDER TAPIA PEÑA

TUTOR: ING. JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA, PH.D.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonathan Alexander Tapia Peña con documento de identificación N° 1726728205, 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.

Cuenca, 3 de agosto del 2023

Atentamente,



Jonathan Alexander Tapia Peña
1726728205

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

Yo, Jonathan Alexander Tapia Peña con documento de identificación N° 1726728205, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Automatización del sistema de regulación del tamaño de grano para un molino eléctrico de granos secos SVM-160”, el cual 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.
Cuenca, 3 de agosto del 2023

Atentamente,



Jonathan Alexander Tapia Peña
1726728205

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio César Loja Quezada con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO PARA UN MOLINO ELÉCTRICO DE GRANOS SECOS SVM-160, realizado por Jonathan Alexander Tapia Peña con documento de identificación N° 1726728205, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 3 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Julio César Loja Quezada, Ph.D.

0102263480

Dedicatoria

Jonathan Tapia

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres, quienes han sido una fuente constante de apoyo y motivación en mi camino académico. Su constancia, confianza y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi desarrollo y éxito.

Agradezco sinceramente el esfuerzo y sacrificio que han realizado para brindarme las oportunidades necesarias para alcanzar mis metas. Su respaldo emocional y financiero ha sido invaluable y me ha impulsado a superar desafíos y perseverar en momentos difíciles.

Este trabajo de titulación es un testimonio de nuestro trabajo en equipo y de la confianza mutua que hemos construido a lo largo de los años. Agradezco su paciencia, comprensión y aliento constante.

Quiero expresar mi gratitud por su confianza en mí y su creencia en mis capacidades. Su constante apoyo ha sido una fuerza impulsora para seguir adelante y nunca rendirme.

A ustedes, mis queridos padres, les dedico este logro. Sin su amor y apoyo, no habría sido posible llegar hasta aquí. Agradezco todo lo que han hecho por mí y valoro profundamente su presencia en mi vida.

Agradecimientos

Jonathan Tapia

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de este trabajo de titulación. En primer lugar, agradezco a mi familia por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi fuente de inspiración.

A mis padres, quienes siempre han estado ahí para brindarme su aliento y confianza, les agradezco por creer en mí y por enseñarme a nunca rendirme. La frase que siempre me inspiró a seguir adelante, "Yo no pienso rendirme, aunque me digan que no puedo vencer al enemigo", ha sido mi lema en momentos de adversidad.

A mi tutor de tesis, Ing. Julio César Loja Quezada, Ph.D, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su orientación, conocimientos y paciencia a lo largo de este proceso. Sus consejos y retroalimentación han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo.

Agradezco a la institución educativa por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo y por los recursos y facilidades proporcionadas.

Finalmente, agradezco a todas las fuentes de información consultadas, así como a todas las personas que participaron en las entrevistas y encuestas, por su colaboración y disposición.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y contribución de todas estas personas. A cada uno de ustedes, les expreso mi más profundo agradecimiento.

Con gratitud,

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	3
2.3. Importancia y alcances	3
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	4
2.4.3. Sectorial o institucional	4
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Hipótesis	5
5. Hipótesis	5
5.1. Hipótesis general	5

5.2. Hipótesis específicas	6
6. Marco Teórico	6
6.1. Molienda	6
6.1.1. Factores importantes en la molienda	7
6.1.2. Molienda seca y húmeda	7
6.1.3. Molienda seca	9
6.1.4. Granos secos	9
6.2. Tipos de molinos	9
6.3. Equipos para molienda	10
6.3.1. Molino de disco de atrición(frotamiento)	10
6.3.2. Molino eléctrico para alimentos secos (SVM-160)	12
6.4. Factores que afectan la molienda	14
7. Marco metodológico	14
7.1. Requisitos para la regulación del proceso de molienda	14
7.2. Descripción de los sistemas del molino.	15
7.2.1. Descripción del sistema de discos de molienda	15
7.2.2. Sistema de molienda.	18
7.2.3. Calibración de molienda fina, media y gruesa	20
7.3. Identificación de mecanismos de regulación que permita una molienda fina, media y gruesa.	21
7.3.1. Piñón-cremallera	21
7.3.2. Leva-seguidor	22
7.3.3. Tornillo sin fin – Corona	23
7.3.4. Biela-Pistón	24
7.4. Selección del mecanismo de regulación.	25
7.5. Análisis general de diferentes granos secos y obtención de datos de los mismos	27
7.6. Propuesta de diseño mecatrónico de la automatización en el sistema de regula- ción de molienda para el molino electromecánico.	29
7.7. Propuesta de diseño mecánico	30
7.7.1. Cálculos para establecer los requerimientos del tornillo sinfín y corona.	30
7.7.2. Diseño de la corona dentada	32
7.7.3. Diseño del tornillo sin fin	38
7.7.4. Cálculo de avance lineal del tornillo de avance	40

7.7.5.	Cálculos del análisis estático del diseño mecánico	40
7.7.6.	Cálculos del módulo para el análisis de rotura del diente o fallos en tornillo sin fin corona	44
7.7.7.	Diseño de una caja robusta para sostener el mecanismo:	46
7.7.8.	Selección de componentes para el mecanismo	47
7.7.9.	Ensamble del mecanismo para simulación	52
7.8.	Propuesta de diseño electrónico	54
7.8.1.	Selección del controlador	54
7.8.2.	Selección del sensor	55
7.8.3.	Selección del actuador	57
7.8.4.	Interfaz de usuario	58
7.8.5.	Conexiones y comunicación	60
7.9.	Propuesta de diseño de Control	61
7.9.1.	Control ON/OFF	62
7.10.	Simulación del diseño mecánico y electrónico del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos	62
7.10.1.	Simulación del diseño mecánico	63
7.10.2.	Simulación del diseño electrónico	64
7.11.	Análisis de costos	65
8.	Resultados	68
8.1.	Resultado diseño del sistema mecánico	69
8.2.	Resultado diseño del sistema electrónico	69
8.3.	Resultado diseño del sistema de control	69
9.	Conclusiones	69
10.	Recomendaciones	70
	Referencias	72
	ANEXOS	73

Lista de Tablas

1.	Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final	10
2.	Evaluación de los sistemas mecánicos por el criterio de satisfacción	26
3.	Datos de ruptura de los diferentes granos.	28
4.	Características de los granos más comunes en la molienda.	28
5.	coeficientes de fricción de Coulomb.	42
6.	Características del rodamiento 608-2RSH.	49
7.	Características del rodamiento 61905-2RS1.	50
8.	Detalle de costos mecánicos	66
9.	Detalle de costos electrónicos	67
10.	Detalle de gastos varios.	67
11.	Costos de diseño de la Automatización	68
12.	Matriz de consistencia	74
13.	Variable dependiente	75

Lista de Figuras

1.	Delimitación geográfica del microemprendimiento	4
2.	Anatomía del grano	8
3.	Molinos de discos de fricción.	12
4.	Molino (SVM-160)	13
5.	Discos de molienda.	16
6.	Disco móvil	17
7.	Ensamble del disco móvil en el eje del motor.	17
8.	Componentes principales de la carcasa	18
9.	Componentes del sistema de finura de la molienda	19
10.	Sistema de finura de la molienda	19
11.	Regulación	20
12.	Piñón-cremallera	22
13.	Leva seguidor	23
14.	Tornillo sin fin – Corona	24
15.	Biela-Pistón	25
16.	Bosquejo	30
17.	Fuerza de rotura de los granos de café Outspan y Guaxupé durante el tostado	31
18.	Chordal thickness and chordal addendum	34
19.	Representación de diámetro del diente referente al número de dientes	35
20.	Diseño de la corona	37
21.	Diseño del tornillo sin fin	39
22.	Fuerza tangencial para la corona.	41
23.	Carga radial	43
24.	Diseño de la caja del mecanismo	46
25.	Rodamiento 608-2RSH	47
26.	Fuerzas en el rodamiento	48
27.	Rodamiento 6902-2rsc3	49
28.	Tornillo de Avance	51
29.	Tuerca de bronce	51
30.	Ensamble del mecanismo parte 1	52
31.	Ensamble del mecanismo parte 2	53
32.	Ensamble del mecanismo completo	53
33.	Controlador ESP32	55

34.	Sensor infrarrojo tipo encoder	56
35.	sensor encoder rotatorio KY-040.	56
36.	Elección del servo motor.	58
37.	Propuesta de interfaz.	59
38.	Despiece general electrónico.	60
39.	Circuito electrónico.	61
40.	Circuito eléctrico control on/off.	62
41.	Análisis de esfuerzos	64
42.	Simulación del circuito	65

Resumen

Este trabajo de titulación se enfoca en diseñar un sistema mecatrónico para regular la molienda de granos, con el objetivo principal de diseñar un sistema mecatrónico que permita regular la molienda de manera precisa y reducir el tiempo necesario para calibrar el sistema, en comparación con el método manual.

La metodología se basó en diseñar un mecanismo de tornillo sin fin corona para ajustar la distancia entre los discos de molienda y controlar el tamaño del producto final. Se consideraron las fuerzas aplicadas por la molienda para evitar retrocesos y descalibraciones no deseadas. Asimismo, se desarrolló un circuito electrónico con una botonera que permite seleccionar diferentes calibraciones, como molienda fina, media y gruesa. Se incluyó un control on/off para asegurar que el sistema regrese a una posición de inicio en caso de descalibración. Además, se realizó un análisis de costos que consideró los gastos de componentes mecánicos, electrónicos y otros.

Se logró desarrollar un diseño mecatrónico que automatiza el sistema de regulación de molienda, mejorando la eficiencia y evitando errores. Aunque requiere una inversión inicial, a largo plazo, ahorra tiempo y costos al evitar calibraciones manuales frecuentes.

Palabras clave: Automatización, Calibración automática, Mecanismos, Molienda, Regulación de molienda.

Abstract

This degree work focuses on designing a mechatronic system to regulate the grinding of grains, with the main objective of designing a mechatronic system that allows to regulate the grinding accurately and reduce the time necessary to calibrate the system, compared to the method manual.

The methodology was based on designing a crown worm mechanism to adjust the distance between the grinding discs and control the size of the final product. The forces applied by grinding were considered to avoid kickback and unwanted miscalibration. Likewise, an electronic circuit was developed with a button panel that allows selecting different calibrations, such as fine, medium and coarse grinding. An on/off control was included to ensure that the system returns to a home position in the event of miscalibration. In addition, a cost analysis was carried out that considered the expenses of mechanical, electronic and other components.

It was possible to develop a mechatronic design that automates the grinding regulation system, improving efficiency and avoiding errors. Although it requires an initial investment, in the long run, it saves time and cost by avoiding frequent manual calibrations.

Keywords: Automation, Automatic calibration, Mechanisms, Grinding, Grinding regulation..

1. Introducción

El presente trabajo de titulación tiene como enfoque el diseño mecatrónico del sistema de regulación de molienda para lograr distintos niveles de finura: fina, media y gruesa. El objetivo principal es mejorar el proceso de calibración y obtener un control preciso de la regulación en cada tipo de molienda.

Este estudio ha sido desarrollado a un problema en el microemprendimiento de molienda ubicado en la provincia de Pichincha, Quito. La precisión en la molienda fina, media y gruesa del grano no es uniforme. La demanda de diferentes grosores requiere calibraciones frecuentes en la máquina, lo que lleva tiempo de calibraciones. Además, la máquina tiende a descalibrarse con el uso continuo.

Para el diseño mecatrónico, se establecieron criterios y requerimientos fundamentales para seleccionar los diversos mecanismos que contribuirán al diseño mecánico. El proceso de elección de los mecanismos para la automatización implica considerar diversos aspectos, como la capacidad de ajuste de los niveles de molienda, la resistencia y durabilidad de los componentes, así como la facilidad de integración con el sistema existente.

El mecanismo tornillo sin fin corona, mencionado por (Salazar Hoyos, 2015), es una solución que utiliza un movimiento de rotación aplicado al tornillo sin fin para transmitir este movimiento a la corona a una velocidad más lenta y obtener mayor torque. Con base en estos aspectos fundamentales, se procede al diseño mecatrónico del sistema de regulación. El diseño mecatrónico implica la integración de componentes mecánicos, electrónicos y de control. Para lograr esto, se emplean herramientas y software especializados en el diseño y simulación del sistema. La interacción de estos elementos permite lograr una regulación precisa en diferentes niveles de molienda, desde fino hasta grueso, y mejorar el proceso de calibración. A través de la simulación, se pueden evaluar diferentes escenarios y mejorar los parámetros de diseño para obtener un sistema confiable.

En este trabajo, se busca mejorar el sistema de regulación de molienda automatizando el proceso. Esto trae ventajas como ahorrar tiempo en la calibración y obtener un sistema que se mantenga calibrado en el proceso. Se están eligiendo los mecanismos adecuados para el diseño mecánico. A lo largo del estudio, se explicarán las ideas teóricas y prácticas para conseguir esta automatización.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En el Ecuador existen zonas como la provincia de Pichincha donde la producción de harinas se realiza continuamente debido al alto consumo de estos productos, sin embargo, su proceso es manual o electromecánico, donde esta actividad productiva genera ingresos. Además, este microemprendimiento consta de molinos de disco de fricción motorizado que solo se usa para un tipo de tamaño de molienda, por lo que no hay posibilidad de cambiar rápidamente diferentes tamaños requeridos.

Se presenta a continuación, proyectos desarrollados nacionales e internacionales con propósitos similares a la idea planteada.

En la zona se han desarrollado proyectos como, Molino de rodillos para molienda de granos de cinco kilogramos por hora (Salas Lara, 2012), Construcción de un molino de tipo martillo para diferentes granos: soya, maíz duro, trigo etc, con capacidad aproximada de 10 quintales por hora (Bermeo Martínez, 2014), Diseño de un molino de rodillos triturador de grano con la capacidad de un quintal (Calapaqui Toapanta y Maiquiza Toapanta, 2020).

(Guizado Díaz, 2019). En su proyecto diseñó un prototipo de máquina moledora de choclo accionada por un motor reductor eléctrico de 0.5 hp, compuesto por dos mecanismos, el primero un el tipo de molienda a través de un disco radial de 165 mm de diámetro y un disco con canales triangulares de 160 mm de diámetro.

(Meza Montes y Vargas Nascimento, 2021). En su proyecto realizo el diseño de un prototipo de molino compacto con transmisión interna y cargue automatizado para granos secos, que cumple con la finalidad de mejorar el proceso convencional de la reducción de tamaño y procesamiento de estos materiales. La geometría y organización del tipo de molino es de discos, permite que este obtenga una presentación final compacta, que facilita la movilidad e instalación del molino sin entorpecer el espacio a su alrededor y su manipulación.

Como se puede observar en los estudios realizados dentro de las zonas, no existe un trabajo en donde se haya hecho un esfuerzo por automatización de un molino electromecánico.

2.2. Descripción del problema

En la actualidad, para el microemprendimiento desarrollado en la provincia de Pichincha, sector Sur de Quito, la precisión en la molienda fina, media y gruesa del grano no es homogénea. Además, existe diferente demanda en la molienda de granos para diferentes grosores, lo que conlleva a realizar el proceso de calibrado de la máquina de molienda en distintas horas del día dependiendo el tipo de molienda que desee el cliente. El tiempo de calibración para tener una molienda homogénea es de unos 15 minutos aproximadamente, ya sea para molienda fina, media y gruesa. Por otro lado, cuando la máquina de molienda trabaja continuamente por un largo periodo, esta tiende a descalibrarse y su producto de molido no es homogéneo, esto puede notarse cuando se mira la calidad de molienda. Lo cual se busca las siguientes características para su emprendimiento: La Maquinaria debe ser accesible para cualquier tipo de grano seco, El funcionamiento debe ser automático, El rendimiento de la molienda debe ser rápido y homogéneo, Tener un control de grosor para la molienda en el producto final.

2.3. Importancia y alcances

La producción de diferentes grosores de harina es de gran importancia, por lo que se busca garantizar la homogeneidad del producto molido para su comercialización y/o el consumo. Esto confirma la necesidad de realizar este estudio, que se centra en una microempresa en la ciudad de Quito, en la provincia de Pichincha, donde se pretende automatizar el sistema de regulación en un molino de discos para producir harina de grosores fino, medio y grueso. Como resultado, se obtendrá una reducción de costos en la producción y una molienda homogénea.

2.4. Delimitación

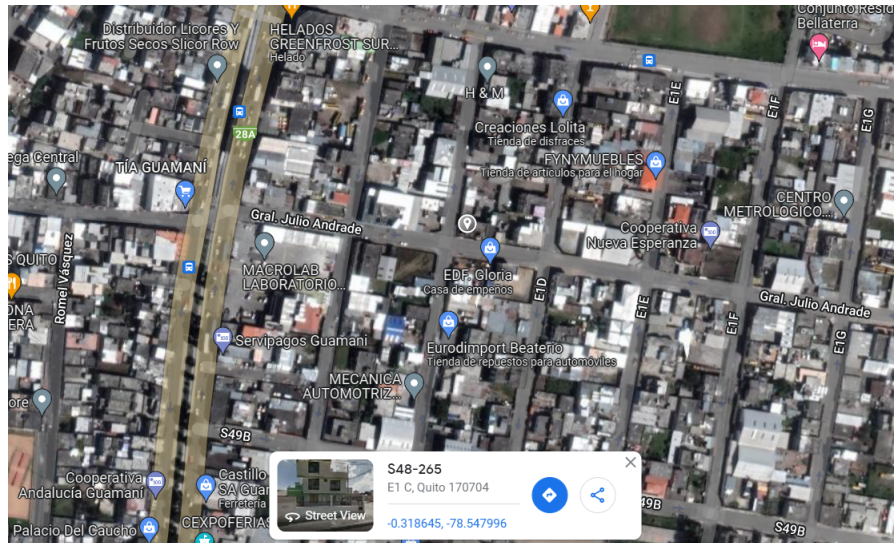
El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El diseño Mecatrónico de este proyecto se realiza para la ciudad de Quito, sector sur para un microemprendimiento, en la Figura 1 se detalla la ubicación exacta.

Figura 1

Delimitación geográfica del microemprendimiento



Nota: Se puede observar la dirección exacta del microemprendimiento, de acuerdo a Google maps.

2.4.2. Temporal

El tiempo de duración estipulado fue de seis meses a partir de la aprobación de este proyecto que corresponden a 400 horas de las asignaturas trabajo de titulación 1 y 2.

2.4.3. Sectorial o institucional

Colocar la delimitación del sector industrial e identificar la institución en la que se desarrollará el trabajo de titulación.

2.5. Problema General

¿Es factible diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos obteniendo una calidad del producto homogéneo?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá establecer los parámetros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos para una mejor calidad de molienda?
- ¿Es posible diseñar un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos obteniendo la misma calidad del producto?
- ¿Se podrá realizar un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos, obteniendo una calidad del producto homogéneo.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos para una mejor calidad del producto.
- Diseñar un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos, obteniendo la misma calidad del producto.
- Realizar un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda.

4. Hipótesis

5. Hipótesis

5.1. Hipótesis general

- Al diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos permitirá mejorar la calidad del producto.

5.2. Hipótesis específicas

- Se determinará los parámetros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos, establecerán una mejor calidad de molienda.
- Se diseñará un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos, obteniendo la misma calidad del producto.
- Se realizará un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda.

6. Marco Teórico

Desde tiempos inmemoriales, los seres humanos han molido las materias primas disponibles (granos, semillas, etc.) para ellos o para sus animales con el objetivo de mejorar su contestabilidad y digestibilidad.

6.1. Molienda

La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas en una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los principios mecánicos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, fricción de cizalla y cortado. En los cereales y semillas, el propósito de la molienda es la obtención de productos intermedios que puedan ser utilizados posteriormente en la fabricación de alimentos de acuerdo a (Roa Acosta, 2015).

Como muchas otras operaciones o procesos industriales, las técnicas de molienda han tenido una rápida evolución a lo largo de las últimas décadas. Nuestros antepasados y en la actualidad a un se sigue desarrollando la técnica de depender de la fuerza física propia o de los animales, pero el descubrimiento y uso de nuevas fuentes de energía ha allanado el camino para una variedad de soluciones tecnológicas en este proceso.

En muchos campos, generalmente la industria, es necesario utilizar diferentes materiales para realizar tareas específicas y para realizar operaciones que requieren transformaciones de sus propiedades. Por lo tanto, el proceso de molienda en la línea de producción es muy

importante. Las propiedades del material procesado se pueden modificar triturando el material procesado en el proceso de molienda con energía mecánica.

6.1.1. Factores importantes en la molienda

Las etapas de molienda, o ya sea trituración, se deben considerar factores importantes para minimizar la reducción de tamaño. Los factores de molienda importantes solo se pueden controlar si los parámetros del equipo o del material de molienda se controlan adecuadamente. Se debe tener en cuenta que las características de los equipos son diferentes, así como las características de los materiales de molienda como dureza, tamaño y otros.

Se pueden considerar factores principales que determinan un proceso de molienda eficiente. Los factores que tienen mayor impacto son:

- Velocidad del molino.
- Dimensiones del molino.
- Dimensiones de los componentes y medios de molienda.
- Volumen de carga.
- Potencia en la operación en molienda.
- Tipos de Molienda: húmeda y seca.

6.1.2. Molienda seca y húmeda

La molienda se puede realizar por vía seca o húmeda, en la molienda seca se busca separar las partes estructurales del grano: endospermo, germen y salvado (Figura 2), mientras que en la molienda húmeda se utilizan aditivos químicos en solución acuosa con el objetivo de separar los componentes del grano: almidón, proteína, aceite y fibra. A nivel industrial, la molienda húmeda se aplica básicamente a pocos cereales, entre ellos está el maíz, el trigo y el arroz (Calzetta Resio, Tolaba, y Suárez, 2006).

Figura 2

Anatomía del grano.



Nota: Se puede observar El grano está formado por un 84% de endospermo, 10% de germen y 6% pericarpio. La parte externa del endospermo del sorgo está formada por una capa de células densamente proteicas, de acuerdo a (Manrique y Vera, 2022).

En términos generales, existen dos métodos principales de la molienda: seco y húmedo. La diferencia obvia radica en la cantidad de agua utilizada en cada uno. Eso no quiere decir que la molienda en seco no use agua, al contrario, usa agua pero en menor porcentaje posible. Por otro lado, existen diferencias fundamentales entre estos métodos de molienda. La molienda en seco es la separación de las partes anatómicas del grano (endospermo, germen y pericarpio). En la molienda húmeda, se desea la separación de los constituyentes químicos del grano (almidón, proteína, forraje).

El objetivo de la molienda en seco es, por tanto, obtener la mayor cantidad de harina posible (tanto almidón como gluten y endospermo que contenga fibra). En la molienda húmeda, por el contrario, el almidón, el gluten (proteína) y la fibra deben separarse lo más posible y mantenerse lo más puros posible de tal manera que el producto del molido es notoriamente visible ya que a diferencia del molido seco es una harina y el molido húmedo es mucho más áspero y con mayor concentración de líquidos.

6.1.3. Molienda seca

La molienda seca generalmente implica la eliminación de lo que el molinero llama salvado, es decir, el pericarpio, la cubierta de la semilla, epidermis y la capa de aleurona. Además, generalmente se elimina el germen por ser relativamente rico en aceite, lo que hace que el producto se enrancie rápidamente disminuyendo su calidad. El salvado y germen son relativamente ricos en proteínas, vitaminas B, sustancias minerales y grasas, de modo que el producto molido, si bien gana en paladar, pierde en valor nutritivo, de acuerdo a (BELTRAN GOMEZ, 2013).

6.1.4. Granos secos

Los granos secos son granos con un bajo porcentaje de líquido, los más comunes y utilizados por los ecuatorianos incluyen habas, arvejas, lentejas, frijoles y garbanzos. Son excelentes fuentes de vitaminas, minerales, proteínas, fibra y antioxidantes. Algunos de estos granos secos son por animales, dependiendo de la especie.

Determinar la calidad, sus características principales y además su aspecto físico de los granos secos que van a ser procesados es significativa. Porque estas propiedades o características son los principales apoyos para iniciar o definir parámetros tanto para diseño de la máquina como la automatización a realizar. Los parámetros más considerables para tomar en cuenta para la molienda de granos secos es la dureza del grano, ya que de este depende la fuerza que se aplicara para poder triturar el grano y de esta manera cambiar su estructura física a una harina.

Uno de los granos secos con mayor resistencia a su trituración es el café y la haba, donde se tomara muy en cuenta el análisis respectivo para que el diseño cumpla con una buena calidad de molido para los distintos granos secos.

6.2. Tipos de molinos

Los equipos utilizados para reducir el tamaño de las partículas, dependiendo de la granularidad y homogeneidad deseada en este proceso, se pueden clasificar en:

- **Cortadoras:** Separan o reducen todo el producto por presión alguna. Este es un proceso ampliamente utilizado para heno donde se desea un tamaño de partícula muy pequeño o donde se debe reducir el tamaño para la reducción final en un molino de martillos.

- **Trituradoras:** Se utilizan fuerzas de compresión para reducir el tamaño. Aunque se pueden utilizar varias máquinas, las más comunes son las que se basan en el funcionamiento de dos rodillos que giran en sentido contrario a través de los cuales se alimenta el material, a menudo denominado rodillo.

6.3. Equipos para molienda

Para la clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido se presenta en la Tabla 1. No se incluyen en ese cuadro los equipos de corte en tamaño específico como serían las picadoras, ralladores o cubeteadoras.

Tabla 1

Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final.

Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: “Crushers”	De rodillo
Intermedio y fino	Molinos de finos: “Mills o Grinders”	De martillo
		Disco de atrición De rodillo
Fino y ultrafino	Molinos de ultrafinos: “Ultrafine grinders”	De martillo De bolas

Nota: En la Tabla 1 se observa los diferentes tipos de equipos que se pueden utilizar dependiendo el estado de molienda(Grueso, fino y Ultrafino), de acuerdo a (Ortegas-Rivas, 2005).

6.3.1. Molino de disco de atrición(frotamiento)

El molino de discos o fricción es un modelo moderno equivalente a los antiguos molinos de piedra. Las piedras se sustituyen por discos de acero en los que se montan placas de molienda intercambiables, ya sea metálica o abrasiva, que giran a velocidades muchos mayores, permitiendo con ello una gama más amplia de aplicaciones.

Estas máquinas tienen un lugar especial en la molienda de materiales orgánicos resistentes, como la pulpa de madera y granos de maíz. La molienda se lleva a cabo entre las placas que pueden operar en plano vertical u horizontal, uno o los dos discos giran y, cuando los dos lo hacen, la rotación se efectúa en direcciones opuestas, (Pavón Céspedes, 2013).

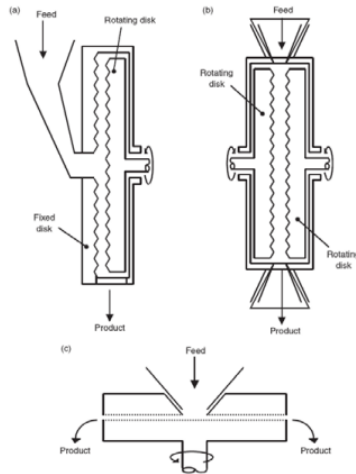
En la Figura 3 se muestra un molino de discos de fricción. La fuerza de corte se usa para lograr la trituración y se usa principalmente para producir partículas finas. Hay varios modelos, como se muestra en la Figura 3 a continuación.

Por otro lado, la Figura 3:

- a** Muestra un disco con ranuras girando a alta velocidad frente a un disco estacionario. La distancia entre los dos discos es ajustable.
- b** El molino de desgaste de doble disco tiene dos discos que giran en direcciones opuestas para promover un desgaste severo.
- c** Finalmente, el molino Buhr es el molino de discos más antiguo ampliamente utilizado para moler harina de trigo. Consta de dos discos montados sobre un eje vertical, el disco superior está fijo y el disco inferior está roto.

Figura 3

Molinos de discos de fricción.



Nota: A continuación se muestra molinos de atrición de discos. a) molino de un disco, b) molino de dos discos, c) molino tipo Buhr. (Ortegas-Rivas, 2005).

6.3.2. Molino eléctrico para alimentos secos (SVM-160)

En la Figura 4 se presenta el molino eléctrico el cual de desa automatizar, este molino tiene la accesibilidad de realizar molienda seca y húmeda, pero dentro del microemprendimiento solo se realiza molienda seca a distintos grosores.

Figura 4

Molino (SVM-160).



Nota: Se puede observar el Molino Eléctrico 2 en 1 para Alimentos Secos (SVM-160). (Semillas de vida, 2019).

A continuación se presenta especificaciones técnicas.

- **Material del cabezal:** Acero Inoxidable SS304.
- **Material de los discos:** Corindón (corundum).
- **Voltaje:** 110V/ 60 Hz.
- **Potencia :** 1500 W / 2 HP.
- **Revoluciones por minuto:** 1400.
- **Longitud de cable:** 1 m.
- **Peso neto :** 20 Kg.

- **Medida de la tolva (embudo):** diámetro 25.5 cm, altura: 20 cm.
- **Medidas del molino armado con la base:** altura: 65cm, largo: 65cm, ancho: 27cm.

6.4. Factores que afectan la molienda

Dentro de esta área existen diversos factores que varían el proceso de molienda y causan una eficiencia menor al proceso, los cuales se presentan a continuación:

- La elasticidad
- La dureza
- La resistencia

Estos factores influyen dentro del proceso de la molienda dependiendo de la materia prima utilizada y su capacidad abrasiva, los equipos se desgastan de manera diferente cuando se utilizan materiales de baja dureza y cuando se utilizan productos muy duros.

7. Marco metodológico

7.1. Requisitos para la regulación del proceso de molienda

Los requisitos mínimos para el sistema de regulación en la molienda pueden variar según el tipo de proceso y equipos utilizados.

- **Facilidad de construcción**

El sistema de regulación de molienda se basa en la disponibilidad de piezas, la complejidad del diseño y la cantidad de herramientas y habilidades necesarias para construirlo.

- **Facilidad de automatización**

El sistema de regulación de molienda debe ser fácilmente automatizable, lo que significa que sus partes deben funcionar bien con sistemas de control y supervisión automáticos, y se debe poder programar de forma sencilla para su uso.

- **Durabilidad y resistencia**

El sistema debe estar construido con materiales duraderos y resistentes para soportar el uso continuo.

- **Facilidad de uso**

El sistema debe ser fácil de usar y permitir limpiezas rápidas y sencillas luego de la molienda, lo que ayuda a ahorrar tiempo y aumentar la eficiencia.

- **Seguridad**

El sistema debe estar diseñado con medidas de seguridad para prevenir accidentes y proteger al operador del molino.

- **Costo inicial del sistema**

Es importante evaluar el costo de adquisición e instalación del sistema mecánico de calibración de molienda fina, media y gruesa, en relación con los beneficios que se espera obtener de su uso.

- **Reducción de desperdicio de material**

Permitir una molienda más precisa y consistente que ayude a reducir el desperdicio de material, lo que puede tener un impacto significativo en los costos de producción.

- **Facilidad de mantenimiento**

Un sistema de calibración fácil de mantener que no sea complejo para cualquier usuario.

7.2. Descripción de los sistemas del molino.

Se describe brevemente los subsistemas presentes en el molino.

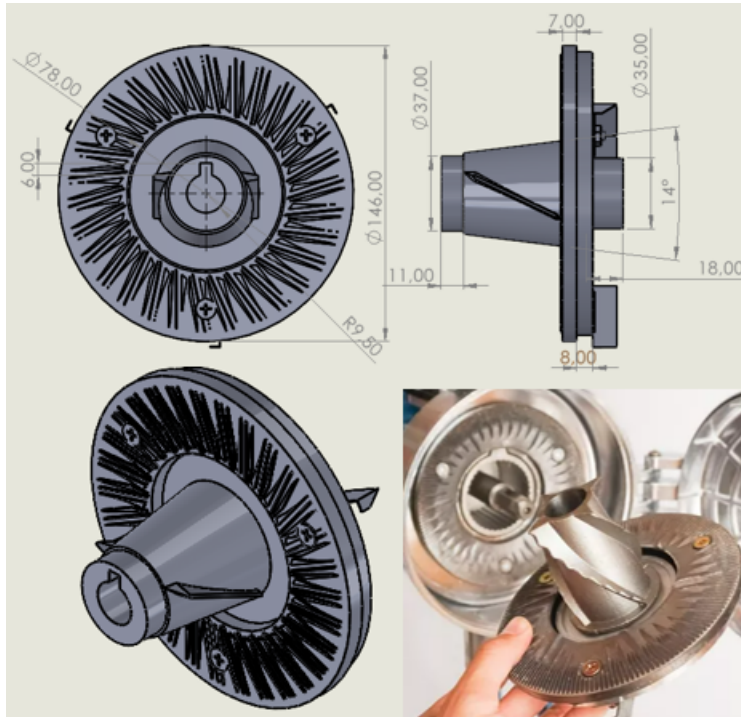
7.2.1. Descripción del sistema de discos de molienda

El sistema de molienda utiliza dos discos: uno fijo y otro móvil, que giran a 1400 rpm para moler materiales duros y frágiles. Los discos utilizados son de acero, pero la parte responsable de la molienda está hecha de corindón y se une mediante 3 tornillos a la parte del disco de acero.

A continuación, en la Figura 5, se presenta un dibujo de los discos:

Figura 5

Discos de molienda.

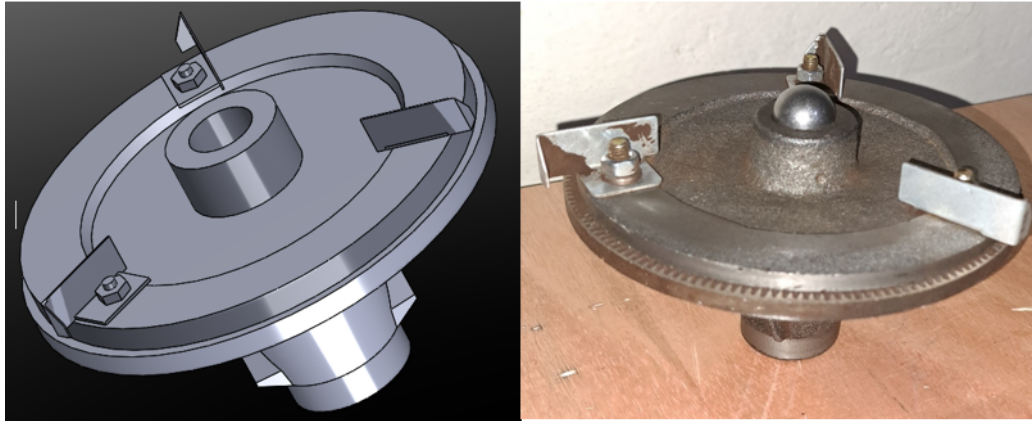


Nota: Se presentan detalles sobre la configuración de los discos para facilitar la comprensión del sistema.

En la Figura 6, se aprecia la vista trasera del disco con un orificio central que contiene una bola de acero de 20 mm de diámetro. La función de la bola es empujar el disco móvil mediante el vástago, permitiendo que gire sin atascamientos. Este disco móvil se ensambla al eje del motor, como se muestra en la Figura 7.

Figura 6

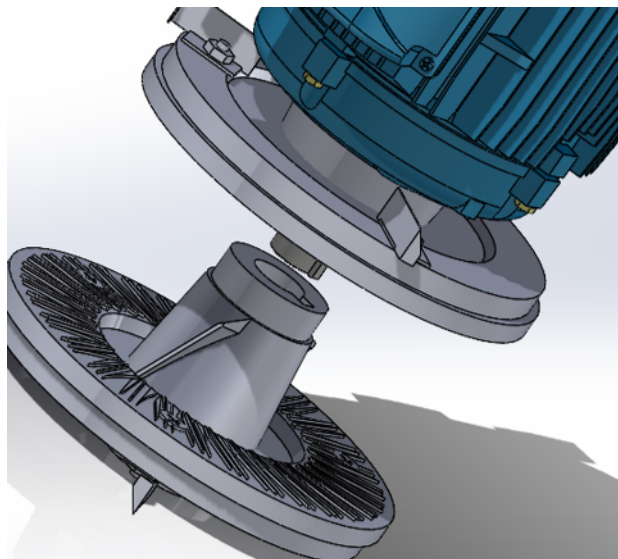
Disco móvil.



Nota: Se presenta una foto y un esquema representativo del disco móvil.

Figura 7

Ensamble del disco móvil en el eje del motor.



Nota: En la Figura 7 se muestra la posición donde se encaja el disco móvil con el eje del motor.

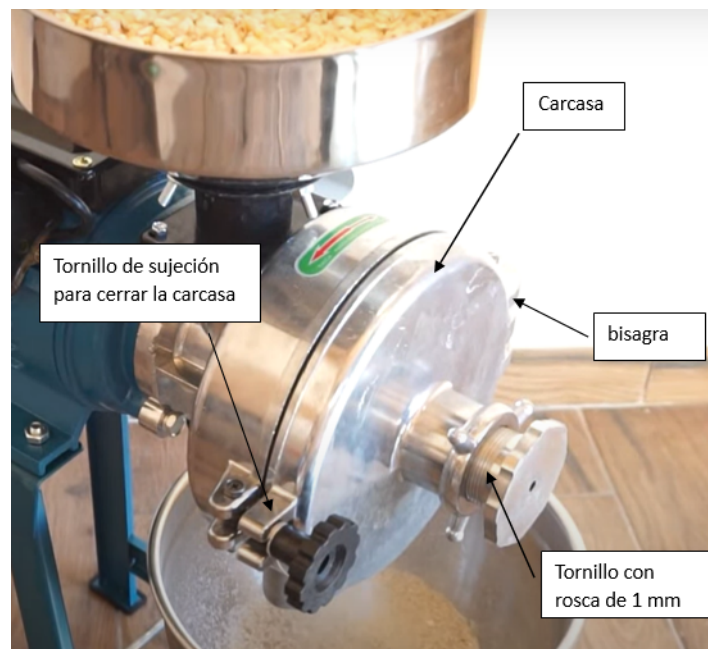
7.2.2. Sistema de molienda.

El sistema de molienda cuenta con una carcasa que protege el mecanismo y permite regular manualmente la finura del producto molido.

En la figura 8, se muestra la carcasa exterior del molino que contiene un tornillo con rosca de 1 mm por paso para ajustar la separación entre los discos de molienda. La tapa se une al molino mediante una bisagra y cuenta con un sistema de protección que incluye un tornillo de sujeción para mantenerla cerrada de forma segura.

Figura 8

Componentes principales de la carcasa



Nota: Se muestra la estructura de la carcasa y la ubicación del tornillo de regulación en una fotografía.

En el sistema de regulación, se encuentran una perilla de apriete, una contratuerca de seguridad, un vástago recto de 74 mm de longitud y una bola esférica en el extremo del vástago. En la Figura 9, se pueden apreciar en detalle estas piezas.

Figura 9

Componentes del sistema de finura de la molienda.

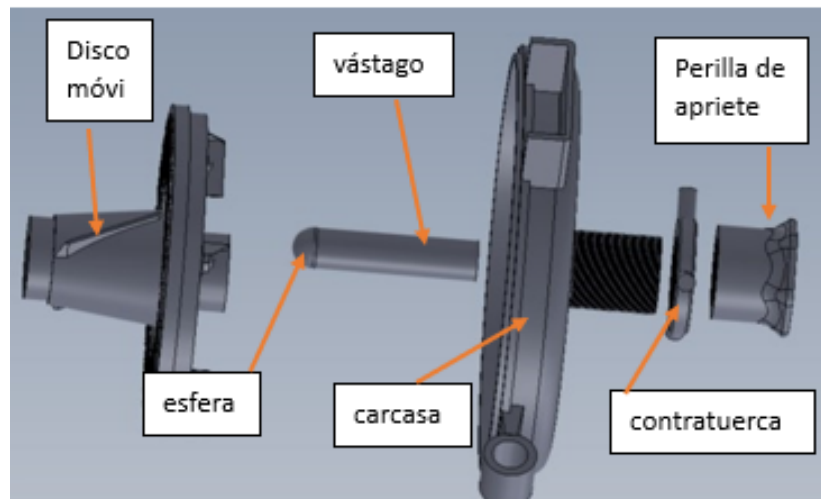


Nota: La Figura 9 muestra los componentes del sistema de regulación.

A continuación, en la Figura 10 se muestra el sistema completo del equipo de molienda y su despiece.

Figura 10

Sistema de finura de la molienda.



Nota: La Figura 10 presenta el ensamble del sistema de regulación.

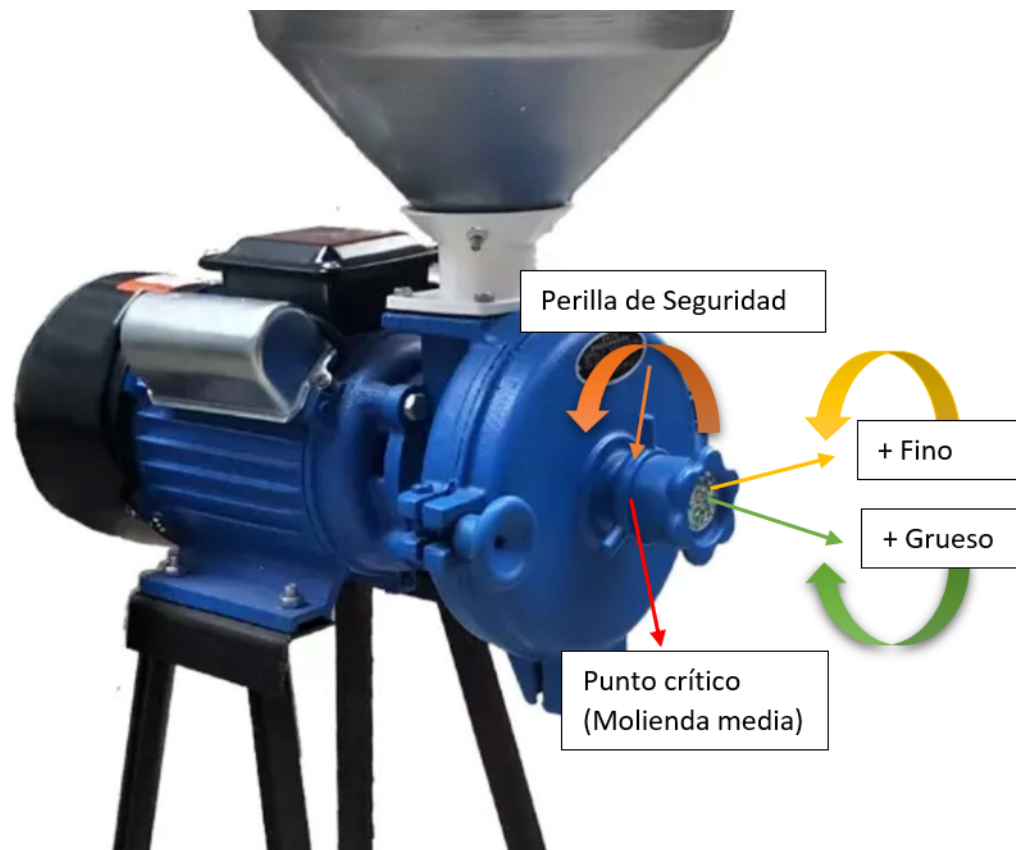
La función del sistema es que al avanzar la perilla de apriete en su rosca, empuja al vástago, y a su vez, mueve el disco móvil, permitiendo regular la separación entre los discos. De esta manera, se logra ajustar la finura del producto molido.

7.2.3. Calibración de molienda fina, media y gruesa

Durante el proceso de calibración, es necesario aflojar la perilla de seguridad girando en sentido contrario a las manecillas del reloj, como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Regulación manual.



Nota: La Figura 11 muestra la calibración manual para la regulación de finura de la molienda.

Luego, se gira la perilla reguladora en sentido de las manecillas del reloj para acercar gradualmente los discos de molienda, hasta que se percibe un sonido leve cuando los discos

se tocan ligeramente. Este es el punto crítico del proceso de calibración, a partir del cual se puede ajustar la finura de la molienda.

Una vez alcanzado este punto, se puede ajustar la finura de la molienda, según se desee. Para obtener una molienda más fina, se debe continuar girando la perilla reguladora en sentido de las manecillas del reloj, hasta obtener la separación deseada entre los discos. Para una molienda más gruesa, se debe girar la perilla reguladora en sentido contrario a las manecillas del reloj.

7.3. Identificación de mecanismos de regulación que permita una molienda fina, media y gruesa.

Se han identificado mecanismos adecuados para la regulación en la molienda. A continuación se mencionan algunos de ellos:

7.3.1. Piñón-cremallera

(Beléndez, Neipp, y Beléndez, 2002), Menciona que el mecanismo de piñón-cremallera posibilita la conversión del movimiento rotatorio del piñón en un movimiento lineal de la cremallera, o viceversa.

En la Figura 12 se muestra el mecanismo de piñón cremallera como una posible solución para el molino. Este mecanismo, al colocar un piñón fijo adaptado a un motor, se obtiene un movimiento lineal en la cremallera. Este movimiento lineal, a su vez, permite empujar el disco giratorio del molino.

Figura 12

Piñón-cremallera.



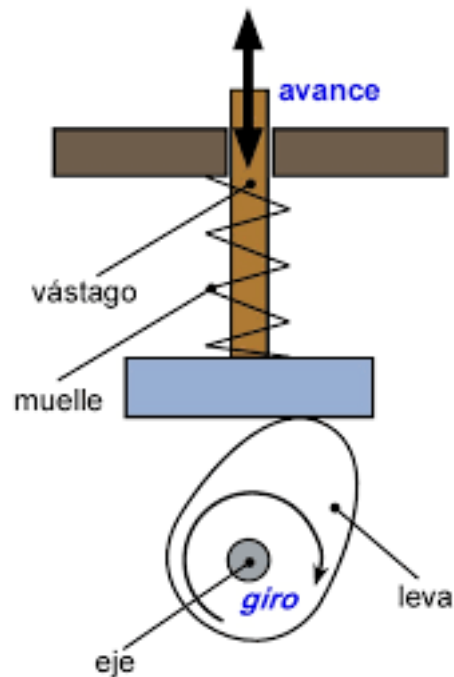
Nota: La Figura 12 muestra el mecanismo Piñón cremallera (Ortiz-Domínguez, Cruz-Avilés, Duran-Sarabia, Valerio-Delgado, y cols., 2023).

7.3.2. Leva-seguidor

(Valencia Calvo, s.f.), El mecanismo de leva seguidor es un sistema mecánico en el cual un elemento llamado leva, que puede tener una forma curva o plana, mueve otro elemento llamado seguidor mediante contacto directo. El seguidor se mueve en respuesta al movimiento de la leva, y esta relación se puede representar gráficamente mediante un diagrama de elevación.

Figura 13

Leva seguidor



Nota: La Figura 13 presenta el mecanismo Leva seguidor.

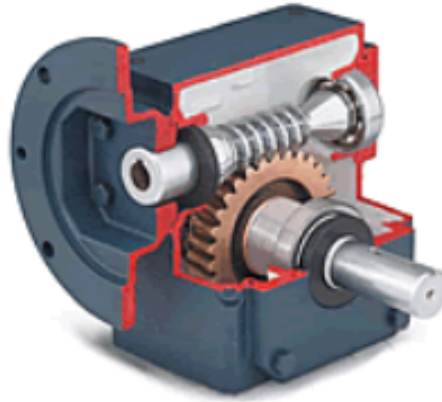
En la Figura 13 se muestra el mecanismo de leva seguidor, donde la leva se acopla al eje del motor y realiza un movimiento rotacional. A su vez, la leva, en su giro, permite generar un avance lineal en el vástago, el cual empujará los discos del molino. Este mecanismo de leva seguidor es una opción para lograr la regulación de la molienda de forma automatizada.

7.3.3. Tornillo sin fin – Corona

El tornillo sin fin corona es un mecanismo de transmisión de potencia que consiste en un tornillo en forma de espiral tornillo sin fin que se acopla con una rueda dentada circular corona (Salazar Hoyos, 2015). Al aplicar un movimiento de rotación al tornillo sin fin, este gira y transmite ese movimiento a la corona, pero a una velocidad mucho menor. En la Figura 14 se muestra más detalle sobre este mecanismo. Es una opción para lograr la regulación precisa en el sistema de molienda.

Figura 14

Tornillo sin fin – Corona



Nota: La Figura 14 muestra el mecanismo Tornillo sin fin – Corona, (Salazar Hoyos, 2015).

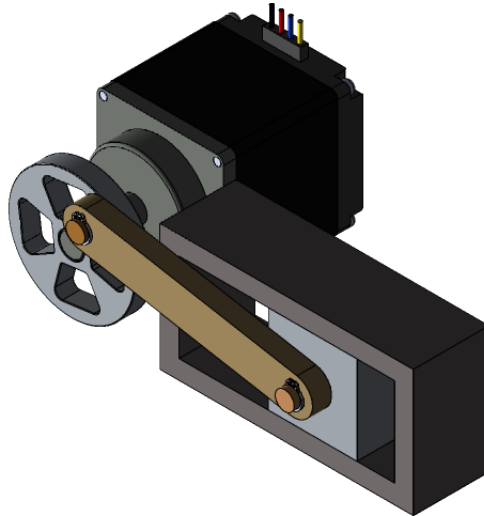
En la Figura 14 se muestra el funcionamiento del mecanismo de tornillo sin fin. Cuando el eje gira rotacionalmente, los dientes del tornillo sin fin se acoplan con la corona. Dentro de la corona se encuentra un tornillo de avance que genera un movimiento lineal. Este movimiento lineal se aprovecha para empujar los discos del molino, permitiendo así la regulación de los discos de molienda.

7.3.4. Biela-Pistón

En la Figura 15 se muestra el mecanismo del pistón. En este caso, el motor se considera como un eje fijo al cual se acopla un disco. Sobre este disco se encuentra una biela que, al producirse el giro, genera un movimiento lineal en el pistón. Este movimiento lineal se utilizaría para empujar los discos del molino de manera controlada y así lograr la molienda deseada.

Figura 15

Biela-Pistón



Nota: La Figura 15 muestra el mecanismo Biela-Pistón.

7.4. Selección del mecanismo de regulación.

La elección del mecanismo de regulación depende de diferentes factores. Se utilizó el método de criterios de satisfacción para evaluar y comparar opciones, asignando puntuaciones a criterios relevantes.

A continuación, se presentan los criterios considerados para la evaluación de los distintos sistemas mecánicos de calibración de molienda. En la Tabla 2 se detallan los criterios y las puntuaciones asignadas a cada opción evaluada. las ponderaciones.

Tabla 2

Evaluación de los sistemas mecánicos por el criterio de satisfacción.

Criterios de Evaluación	Piñón-cremallera	Leva-seguidor	Sinfin-Corona	Biela- pistón
Facilidad de construcción	1	1	2	1
Facilidad de automatización	2	2	3	2
Durabilidad y resistencia	3	2	3	1
Facilidad de uso	3	2	2	2
Seguridad	2	3	3	2
Costo inicial del sistema	2	2	2	1
Reducción desperdicio material	2	2	3	1
Facilidad de mantenimiento	2	2	3	2
Total	17/24	16/24	21/24	12/24

Nota: En la Tabla 2 se presentan los diferentes tipos de mecanismo y sus ponderaciones correspondientes.

A continuación, se presenta la validación del puntaje asignado en la elección del mecanismo de tornillo sin fin corona, el cual ha obtenido la mayor ponderación total.

- **Facilidad de construcción:** La facilidad de construcción del mecanismo de tornillo sin fin corona tiene una simplicidad estructural, disponibilidad generalizada de los materiales requeridos y la posibilidad de adaptarlo a necesidades específicas.
- **Facilidad de automatización:** La automatización del mecanismo es factible, ya que se adapta para controlar con motores sin ningún problema.
- **Durabilidad y resistencia:** El tornillo sin fin corona es duradero y resistente debido a la distribución uniforme de carga y materiales resistentes utilizados en su fabricación.
- **Facilidad de uso:** No se requiere mayor conocimiento técnico para ajustar su posición y velocidad. Por otro, lado se necesita mayor atención en su mantenimiento y lubricación para asegurar un movimiento suave y sin problemas.
- **Seguridad:** El tornillo sin fin corona ofrece buena seguridad debido a su movimiento preciso y al estar dentro de una carcasa no es peligroso para el operario.

- **Costo inicial del sistema:** El costo inicial del sistema del tornillo sin fin corona es alto a su diseño. Sin embargo, puede ser una inversión rentable a largo plazo en aplicaciones que requieren precisión y carga de trabajo constante.
- **Reducción de desperdicio de material:** Utiliza técnicas de fabricación avanzadas, como el mecanizado de precisión, se puede minimizar el desperdicio de material. Estos métodos permiten una mayor precisión y control en la producción, lo que reduce la cantidad de material que se desperdicia durante el proceso.
- **Facilidad de mantenimiento:** El tornillo sin fin corona es fácil de mantener debido a su diseño simple y requiere lubricación regular y el reemplazo de piezas desgastadas.

El mecanismo de tornillo sin fin corona fue elegido por su alta precisión y durabilidad a largo plazo, lo cual garantiza una regulación de los discos precisa.

7.5. Análisis general de diferentes granos secos y obtención de datos de los mismos

Usando como punto de partida el grano, el cual posee características físicas destacadas en cuanto a su tamaño y la fuerza requerida para su fractura, se lleva a cabo un experimento. En este experimento, se deja caer un objeto sobre el grano desde distintas alturas para romperlo. De esta manera, se puede calcular la energía necesaria para la fractura utilizando la ecuación 1:

Donde: la masa que romperá el grano es de 250 g (0.25 kg), representada por (m). La letra (h) corresponde a la altura desde la cual se lanza la masa para fracturar el grano, y (g) es la aceleración debido a la gravedad.

$$\begin{aligned}
 Ruptura_{trigo} &= m * g * h \\
 Ruptura_{trigo} &= 0.25 * 9.81 * 0.17 \\
 Ruptura_{trigo} &= 0.416J
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

En la siguiente Tabla 3 se indican los valores para ver que grano es el más duro de romper.

Tabla 3*Datos de ruptura de los diferentes granos.*

Grano	Masa	Distancia	Ruptura(J)
TRIGO	0.25 kg	0.17 m	0.41 J
CEBADA	0.25 kg	0.15 m	0.37 J
MAIZ	0.25 kg	0.20 m	0.49 J
CAFÉ	0.25 kg	0.21 m	0.52 J

Nota: En la Tabla 3 se observan los diferentes tipos de granos utilizados en el microemprendimiento para la molienda. Además, se detallan los datos de ruptura correspondientes a cada tipo de grano.

Para realizar el análisis de la Tabla 4, se lleva a cabo la recolección y muestreo de los granos más comercializados dentro del microemprendimiento.

Tabla 4*Características de los granos más comunes en la molienda.*

Grano	Largo	Ancho	Diámetro del grano
TRIGO	1.7-3.3mm	2-2.8mm	2.38 mm
CEBADA	2-3mm	0.8-1.2mm	1.36 mm
MAIZ	6-9.5mm	4.5-7mm	5.1 mm
CAFÉ	8-11mm	5-7mm	4.6 mm

Nota: En la Tabla 4, se muestran los diferentes tipos de granos utilizados en la molienda dentro del microemprendimiento, junto con sus características principales.

A partir de estos datos, se puede inferir que el café sería el grano con mayor resistencia a la molienda. Con un tamaño promedio de 4.6 mm, se necesita una energía de ruptura de 0.53 Nm para romper 1 grano de café.

La ecuación 2 permite calcular la potencia necesaria para generar el torque suficiente

y romper un grano de café. Este cálculo se realiza considerando que el motor opera a una velocidad de 1400 rpm.

$$\begin{aligned} P &= Ruptura_{café} * rpm_{motor} * \frac{2 * \pi}{60} \\ P &= 0.52 * 1400 * \frac{2 * \pi}{60} \\ P &= 76.24W \end{aligned} \tag{2}$$

Nota: $2\pi/60$ equivale el paso de revoluciones a radianes.

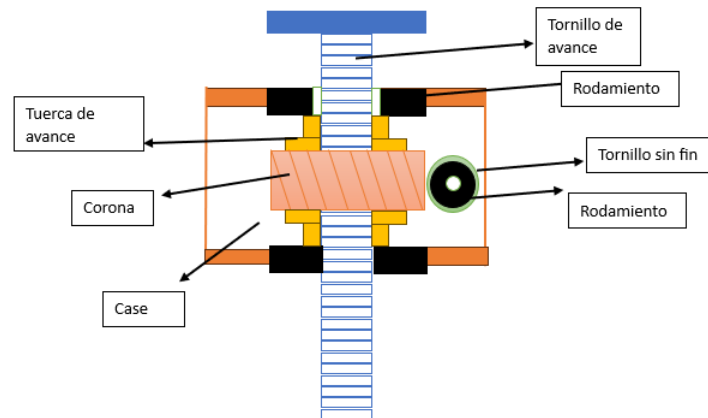
Estos hallazgos son fundamentales para comprender las fuerzas específicas que se requieren al momento de moler el café. A partir del análisis realizado, será posible expresar de manera más precisa las fuerzas necesarias.

7.6. Propuesta de diseño mecatrónico de la automatización en el sistema de regulación de molienda para el molino electromecánico.

En el proceso de diseño mecatrónico, se llevó a cabo un bosquejo detallado del mecanismo de tornillo sin fin corona, como se observa en la Figura 16. Este mecanismo se adaptó y analizó cuidadosamente en relación con el molino existente, considerando sus características y requerimientos específicos.

Figura 16

Bosquejo



Nota: La Figura 16 muestra el bosquejo.

Antes de iniciar el proceso de diseño, es fundamental establecer las fuerzas que actúan en el mecanismo que se desea construir.

7.7. Propuesta de diseño mecánico

Para lograr un diseño eficiente, se deben tener en cuenta varios aspectos, como la geometría precisa de los dientes de la corona y el tornillo sin fin, la selección adecuada de materiales y la interacción con otros componentes del sistema.

7.7.1. Cálculos para establecer los requerimientos del tornillo sin fin y corona.

La cantidad de fuerza necesaria para romper un grano de café tostado puede variar dependiendo de varios factores, como el grado de tostado, la variedad de café y la forma en que se aplique la fuerza.

(Jokanović, Džinić, Cvetković, Grujić, y Odžaković, 2012), el estudio evaluó la resistencia de los granos de café tostado utilizando una prueba de compresión en una máquina de ensayos universal. Los autores encontraron que la resistencia de los granos de café disminuía a medida que aumentaba el nivel de tostado, lo que sugiere que los granos de café más tostados son más

fáciles de romper. Se realizaron estudios de 2 tipos de café analizando la fuerza de ruptura después de diferentes tiempos de tueste, estos datos se presentan en la Figura 17.

Figura 17

Fuerza de rotura de los granos de café Outspan y Guaxupé durante el tostado

Breaking force of Outspan and Guaxupe coffee beans during roasting (n=20)

Heating time (min)	Outspan ^{ms}	Guaxupe ^{ms}
	Breaking force (N)	Breaking force (N)
7	96.76±18.86 ^a	94.75±15.87 ^a
14	69.58±15.49 ^b	69.30±18.00 ^b
21	64.13±18.75 ^b	68.43±17.79 ^b
28	63.03±16.99 ^b	66.10±15.66 ^b
35	52.12±15.14 ^{b,c}	52.78±15.61 ^b
40	37.82±5.67 ^c	35.39±9.50 ^b

^{a,b,c} Means within a column with different superscripts differ ($P < 0.05$)

^{ms} Means within a row no significant difference ($P > 0.05$)

Nota: La Figura 17 muestra la fuerza de rotura de los granos de café Outspan y Guaxupé durante el tostado, según (Jokanović y cols., 2012)

En su estudio, examinó como tiempo de tostado afecta el peso, volumen, densidad y pérdida de peso total del café. Para ello, utilizó una muestra de 100 granos de café y registró las mediciones antes y después del proceso de tostado. Además, se requiere colocar un peso aproximado para triturar los granos de 96.76 N.

(Jokanović y cols., 2012), Menciona que los valores de fuerza de triturado después de 7 minutos de calentamiento fueron similares ($P > 0.05$) para ambas muestras, 96,76 N para Outspan y 94,75 N para Guaxupe.

- **Cálculo de cargas:** El peso estimado por el estudio es de 97 N, lo que serían aproximadamente 10 kg. Para tener un factor de seguridad, se sobredimensiona este valor y se toma una masa de 15 kg. Esta masa se debe convertir a newtons para realizar los cálculos. En la ecuación 3, se encuentra la carga máxima en newtons representada por (Fp), donde (m1) representa la masa para triturar los granos.

Teniendo en cuenta que el diámetro de los discos es de 14 cm y al analizar la zona de molienda fina, donde se ejerce mayor presión, se estima que ingresan aproximadamente 30 granos para ser molidos. Utilizando la ecuación 3, procederemos a calcular la fuerza total para 30 granos, representada por (Frt).

$$\begin{aligned}
 Fp &= m1 * g \\
 Fp &= 15kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 147N \\
 Frt &= 147N * 30 \\
 Frt &= 4410N
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

7.7.2. Diseño de la corona dentada

La relación de transmisión y el módulo del tornillo sinfín se utilizaron como referencia para el cálculo de los demás parámetros. Para calcular el número de dientes o entradas de la corona dentada, se consideran los valores de la potencia del motor y la potencia necesaria para moler el café, que se calcula en la ecuación 2. Este cálculo se realiza mediante la ecuación 4.

Donde: (N) es el número de entradas de la corona, (pm) es la potencia requerida del molino y (pr) potencia requerida para moler café.

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{pm}{pr} \\
 N &= \frac{1500}{76.24} \\
 N &= 19.67dientes \\
 N &= 20dientes
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Para calcular la relación de transmisión, se realizan los cálculos a partir de N, que representa las entradas de la corona, y n, que representa las entradas del tornillo sin fin. Esto se expresa mediante la ecuación 5.

$$\begin{aligned}i &= \frac{n}{N} \\i &= \frac{4}{20} \\i &= \frac{1}{5}\end{aligned}\tag{5}$$

En la relación de transmisión, se utilizará una proporción de 1:5, lo que significa que el tornillo sin fin dará 5 vueltas mientras que la corona dará solo 1 vuelta.

- **Módulo**

El módulo se define como el cociente entre el diámetro primitivo del tornillo sin fin y el número de dientes de la corona. Para calcular el módulo, se considera el número de dientes de la corona ya obtenido en la ecuación 4.

Por otro lado, (Jones y Ryffel, 1984) en su libro menciona que al diseñar engranajes, es importante tener en cuenta el concepto de módulo. En una de las tablas proporcionadas, se presenta el número de dientes y el diámetro del diente, como se indica en la Figura 18 y la Figura 19.

Figura 18

Chordal thickness and chordal addendum

Table 9. Chordal Thicknesses and Chordal Addenda of Gear Teeth

This table is for spur gears of one diametral pitch. For any other diametral pitch, divide the given value by the required pitch. Table gives the chordal thickness at the pitch circle when addendum is standard for full-depth teeth or equal to 1 divided by diametral pitch.

No. of Teeth	Chordal Thickness	Chordal Addenda	No. of Teeth	Chordal Thickness	Chordal Addenda	No. of Teeth	Chordal Thickness	Chordal Addenda
10	1.56434	1.06156	59	1.57061	1.01046	108	1.57074	1.00570
11	1.56546	1.05598	60	1.57062	1.01029	109	1.57075	1.00565
12	1.56631	1.05133	61	1.57062	1.01011	110	1.57075	1.00560
13	1.56698	1.04739	62	1.57063	1.00994	111	1.57075	1.00556
14	1.56750	1.04401	63	1.57063	1.00978	112	1.57075	1.00551
15	1.56794	1.04109	64	1.57064	1.00963	113	1.57075	1.00546
16	1.56827	1.03852	65	1.57064	1.00947	114	1.57075	1.00541
17	1.56856	1.03625	66	1.57065	1.00933	115	1.57075	1.00537
18	1.56880	1.03425	67	1.57065	1.00920	116	1.57075	1.00533
19	1.56901	1.03244	68	1.57066	1.00907	117	1.57075	1.00529
20	1.56918	1.03083	69	1.57066	1.00893	118	1.57075	1.00524
21	1.56933	1.02936	70	1.57067	1.00880	119	1.57075	1.00519
22	1.56946	1.02803	71	1.57067	1.00867	120	1.57075	1.00515
23	1.56958	1.02681	72	1.57067	1.00855	121	1.57075	1.00511
24	1.56967	1.02569	73	1.57068	1.00843	122	1.57075	1.00507
25	1.56977	1.02466	74	1.57068	1.00832	123	1.57076	1.00503
26	1.56984	1.02371	75	1.57068	1.00821	124	1.57076	1.00499
27	1.56991	1.02284	76	1.57069	1.00810	125	1.57076	1.00495
28	1.56998	1.02202	77	1.57069	1.00799	126	1.57076	1.00491
29	1.57003	1.02127	78	1.57069	1.00789	127	1.57076	1.00487
30	1.57008	1.02055	79	1.57069	1.00780	128	1.57076	1.00483

Nota: La Figura 18 muestra la tabla para la selección del diametro del diente, según (Jones y Ryffel, 1984)

Figura 19

Representación de diámetro del diente referente al número de dientes.

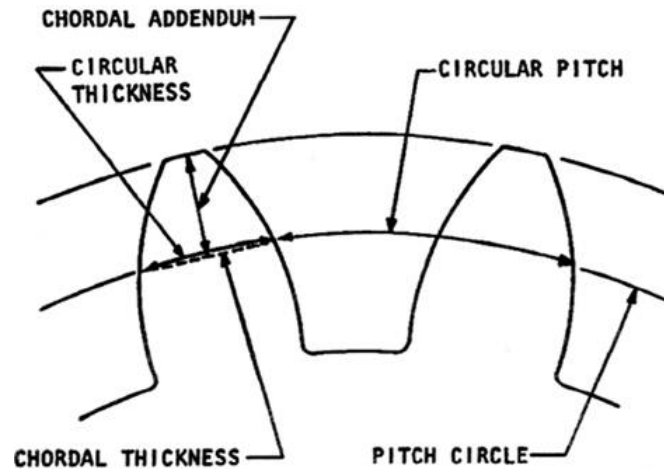


Fig. 2

Nota: La Figura 19 muestra la identificación de lo que expresa la figura 18

Para la selección de 20 dientes en la Figura 18, se considera un "chordal thickness" de 1.569 mm, que es equivalente a su módulo.

El tamaño máximo esperado del mecanismo es de 38 mm, por lo que se elige un diámetro primitivo de 32 mm para cumplir con este requisito. Utilizando la tabla de módulos de engranajes con un módulo de 1.6 y un paso de 5.03 mm, se determinan estos valores importantes para el diseño del sistema de tornillo sin fin y corona.

El módulo, representado por (M), desempeña un papel fundamental en diversos cálculos, y se presenta en la ecuación 6, donde (Dp) representa el diámetro primitivo.

$$M = \frac{Dp}{N}$$
$$M = \frac{32mm}{20} \tag{6}$$
$$M = 1.6$$

Una vez que se han establecido los parámetros de diseño, como el diámetro primitivo deseado y la relación de transmisión, se procede a realizar los cálculos específicos para el diseño de la corona y el tornillo sin fin.

■ **Diámetro exterior:**

$$\begin{aligned}DE &= Dp + (2 * M) \\DE &= 32 + (2 * 1.6) \\DE &= 35.2mm\end{aligned}\tag{7}$$

■ **Paso:**

$$\begin{aligned}P &= \pi * M \\P &= \pi * 1.6 \\P &= 5.03mm\end{aligned}\tag{8}$$

■ **Altura de Diente:**

$$\begin{aligned}H &= 2,167 * M \\H &= 2,167 * 1.6 \\H &= 3.47mm\end{aligned}\tag{9}$$

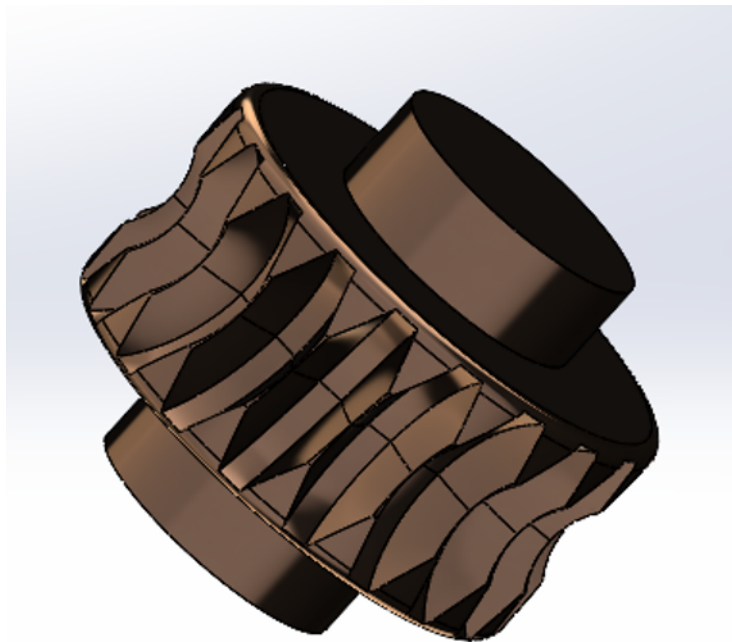
- Ancho de la corona:

$$\begin{aligned} A &= 6 + (2,38 * P) \\ A &= 6 + (2,38 * 5.03) \\ A &= 17.96mm \end{aligned} \tag{10}$$

A continuación, en la Figura 20 se presenta el diseño realizado acorde a los cálculos realizados de la corona.

Figura 20

Diseño de la corona



Nota: La Figura 20 muestra el diseño realizado en SolidWorks.

7.7.3. Diseño del tornillo sin fin

Al diseñar el tornillo sin fin, se deben tener en cuenta varios aspectos importantes para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema.

- **Altura del Filete:**

$$\begin{aligned}h &= 2,167 * M \\h &= 2,167 * 1.6 \\h &= 3.47mm\end{aligned}\tag{11}$$

- **Diámetro primitivo:**

$$\begin{aligned}dp &= 10 * M \\dp &= 10 * 1.6 \\dp &= 16mm\end{aligned}\tag{12}$$

- **Diámetro exterior:**

$$\begin{aligned}de &= dp + (2 * M) \\de &= 16 + (2 * 1.6) \\de &= 19.2mm\end{aligned}\tag{13}$$

- **Diámetro del tornillo:**

$$\begin{aligned}
 d &= de - (2 * h) \\
 d &= de - (2 * 3.47) \\
 d &= 12.27mm
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

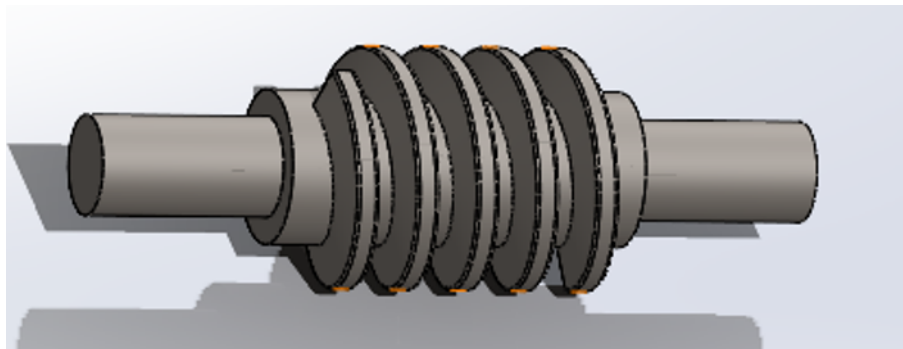
■ **Ángulo de hélice:**

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{\text{arcTg}(M * n)}{dp} \\
 \alpha &= \frac{\text{arcTg}(1.6 * 4)}{16} \\
 \alpha &= 5\text{grados}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

A continuación, en la Figura 21 se presenta el diseño realizado acorde a los cálculos realizados del tornillo sin fin.

Figura 21

Diseño del tornillo sin fin



Nota: La Figura 21 muestra el diseño realizado en SolidWorks.

Los cálculos posteriores son realizados directamente por el software de diseño utilizado, en este caso, el programa SolidWorks.

7.7.4. Cálculo de avance lineal del tornillo de avance

El avance lineal máximo necesario en el molino es de 28 mm, lo cual indica que los discos deben tener una separación de 28 mm, ajustable mediante el mecanismo correspondiente. Para calcular el avance por transmisión del tornillo, utilizaremos la ecuación 16, donde (p) es el paso del tornillo sin fin, (A) es el avance lineal esperado y (nd) es el número de entradas del tornillo sin fin. En este caso, disponemos de 4 entradas, ya que el tornillo de avance es de 4 entradas, y para mantener la relación de avance, se expresa el mismo valor para el tornillo sin fin.

$$\begin{aligned} A &= p * nd * i \\ A &= 5.03 * 4 * \frac{1}{5} \\ A &= 4.024mm \end{aligned} \tag{16}$$

Se obtiene que por cada transmisión completa del tornillo sin fin-corona, el tornillo avanza 4.024 mm, lo cual requerirá 6.9 transmisiones del tornillo sin fin-corona para completar el avance máximo de 28 mm.

7.7.5. Cálculos del análisis estático del diseño mecánico

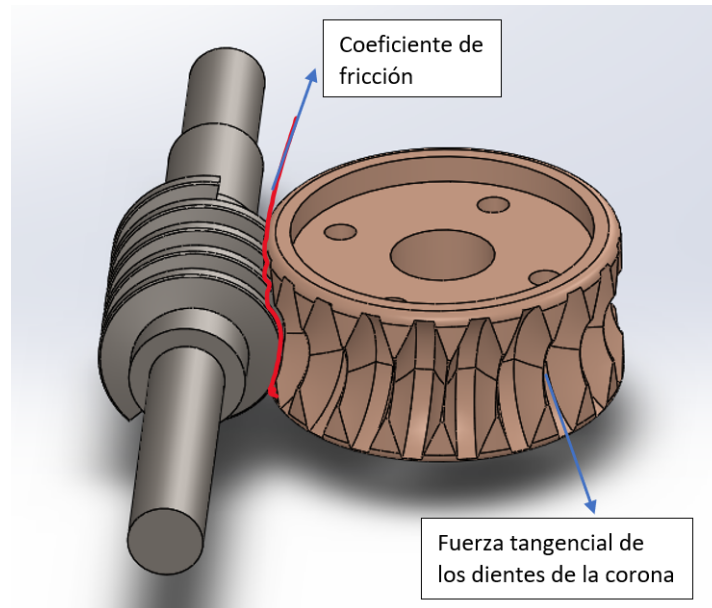
■ Cálculos de la fuerza tangencial de la corona

El cálculo de la fuerza tangencial (F_t) en la corona dentada es esencial para determinar la carga que los dientes de la corona soportan mientras el mecanismo de tornillo sin fin-corona está en funcionamiento. Esta fuerza se genera debido al movimiento del tornillo sin fin y se transmite a través de los dientes de la corona.

Calcular la fuerza tangencial es importante para asegurar la resistencia adecuada de los dientes de la corona. Si la fuerza es demasiado alta, podría dañar los dientes y afectar el funcionamiento del mecanismo. En la Figura 22 se muestran los componentes que están siendo analizados.

Figura 22

Fuerza tangencial de los dientes de la corona.



Nota: La Figura 22 muestra de forma gráfica la fuerza tangencial de la corona.

(Norton, 2010) menciona que la fórmula para el cálculo de la fuerza tangencial en la corona dentada se describe en la ecuación 17, Donde:

- **F_t** es la fuerza tangencial en Newtons (N).
- **π** es la constante pi (aproximadamente 3.14159).
- **u** es el coeficiente de fricción entre el tornillo sin fin y la corona.
- **F_p** es la carga o fuerza aplicada al tornillo sin fin en Newtons (N).
- **c** es el ángulo de inclinación de los dientes de la corona con respecto al eje del tornillo sin fin (en radianes).

En la Tabla 5 expresa el coeficiente de fricción de Coulomb, que proporciona valores para diferentes combinaciones de materiales en condiciones secas. Aquí detallamos algunos coeficientes de fricción típicos para materiales comunes:

Tabla 5*Coefficientes de fricción de Coulomb.*

Material	Coefficiente
Acero sobre acero	0.15-0.20
Acero sobre bronce	0.18-0.24
Acero sobre hierro fundido	0.20-0.35
Acero sobre plástico (POM, nylon)	0.10-0.25

Nota: En la Tabla 5 según (Norton, 2010) expresa los diferentes tipos de coeficiente de fricción para diferentes materiales.

$$F_t = \frac{2 * \pi * u * F_p * \tan(c)}{\cos(c) - u * \sin(c)}$$

$$F_t = \frac{2 * \pi * 0.21 * 147N * \tan(5)}{\cos(5) - 0.21 * \sin(5)} \quad (17)$$

$$F_t = 17.35N$$

La (F_t) será la fuerza aplicada en los dientes de la corona y con este valor se determinará en la simulación si es el correcto.

- **Fuerza radial en el tornillo sin fin**

La carga radial sobre el tornillo sin fin se refiere a la fuerza o presión ejercida perpendicularmente a la dirección del eje del tornillo.

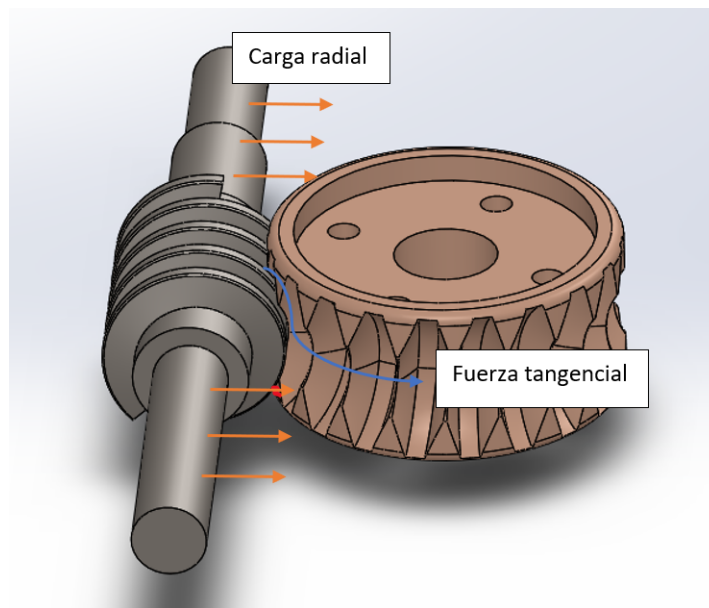
Para determinar la carga radial sobre el tornillo sin fin, es necesario considerar las fuerzas que actúan sobre el sistema. La ecuación 18 muestra cómo se expresa la fuerza radial:

$$\begin{aligned}Fr &= Ft * \tan(\alpha) \\Fr &= 17.35 * \tan(5) \\Fr &= 1.52N\end{aligned}\tag{18}$$

En la Figura 23 se representa la carga radial para la simulación referente a la carga calculada.

Figura 23

Carga radial.



Nota: La Figura 23 muestra la carga radial referente a la Fuerza tangencial.

Es importante realizar un análisis detallado de las cargas radiales y considerar factores de seguridad adecuados para garantizar que el tornillo sin fin pueda soportar las cargas esperadas sin deformarse o sufrir daños.

- **Fuerza axial**

La fuerza axial es una fuerza que actúa en el eje longitudinal del tornillo sin fin, es decir, a lo largo de su eje central. La fuerza axial se puede calcular multiplicando la fuerza tangencial (Ft) por el coeficiente de fricción del tornillo sin fin (u). En la ecuación 19 se expresa la fuerza axial (Fa).

$$\begin{aligned}
 Fa &= Ft * u \\
 Fa &= 17.35 * 0.21 \\
 Fa &= 3.6435N
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Esta fuerza será aplicada al tornillo sin fin, y este dato servirá para la selección adecuada de los rodamientos.

7.7.6. Cálculos del módulo para el análisis de rotura del diente o fallos en tornillo sin fin corona

En estos cálculos, se utiliza el criterio de flexión y se aplica la fórmula de Lewis para calcular el módulo necesario. La fórmula toma en cuenta varios parámetros, como la potencia en HP (Pot), el ángulo de hélice (beta), la velocidad angular del servomotor en rpm (W1), la tensión admisible en kg/cm² (a), el factor de forma de Lewis para 20 dientes (b) y el factor de guiado (Y).

Estos valores se utilizarán para determinar el módulo adecuado y garantizar el correcto funcionamiento del mecanismo de tornillo sin fin corona en la automatización del sistema de regulación de molienda, como se muestra en la ecuación 20.

$$M = 52.3 \sqrt[3]{\frac{Pot * \cos(\beta)}{W_1 * N * b * a * Y}}
 \tag{20}$$

Para calcular la potencia, consideraremos el momento causado por la fuerza del tornillo. Utilizaremos los datos (Frt), que es la fuerza para 30 granos calculada en la ecuación 3, (rta) que es el radio del tornillo de avance y este es de 5 mm, los ángulos $\theta y \phi$.

En la ecuación 21, se calcularán los ángulos correspondientes. Siendo (u) el coeficiente de fricción, el paso hace referencia al paso del tornillo de avance que es de 1 mm, y al ser de

4 entradas, tendremos un avance de 4 mm. El valor correspondiente para el coeficiente de fricción se encuentra en la tabla 5.

$$\begin{aligned}
 \phi &= \tan^{-1}\left(\frac{\text{paso}}{2\pi * r_t a}\right) \\
 \phi &= \tan^{-1}\left(\frac{4}{2\pi * 5}\right) \\
 \phi &= 7.26 \\
 \theta &= \tan^{-1}(u) \\
 \theta &= \tan^{-1}(0.21) \\
 \theta &= 11.86
 \end{aligned} \tag{21}$$

En la ecuación 22 se calcula la potencia requerida para el cálculo del módulo. (T) representa el torque necesario para el tornillo sin fin.

$$\begin{aligned}
 T &= F_r t * r_t a * \tan(\phi + \theta) \\
 T &= 4410 * (0.005) * \tan(7.26 + 11.86) \\
 T &= 7.64 Nm \\
 Pot &= T * w \\
 Pot &= 7.64 * 10.47 \\
 Pot &= 80w
 \end{aligned} \tag{22}$$

(Abasolo, Navalpotro, Iriondo, y Corral, 2017) menciona algunas tablas de gran importancia para la elección de materiales y valores utilizados en los cálculos, como la tensión admisible, el factor de forma para 20 dientes y el factor de guiado, eligiendo el de precisión.

A continuación, en la ecuación 23, se determina el módulo apropiado para nuestro sistema. Esta evaluación nos permitirá asegurar que el diseño del sistema sea adecuado y cumpla con los requisitos necesarios.

$$M = 52.3 \sqrt[3]{\frac{Pot * \cos(\beta)}{W_1 * N * b * a * Y}}$$

$$M = 52.3 \sqrt[3]{\frac{0.11 * \cos(5)}{100 * 20 * 15 * 398 * 0.322}}$$

$$M = 0.16$$
(23)

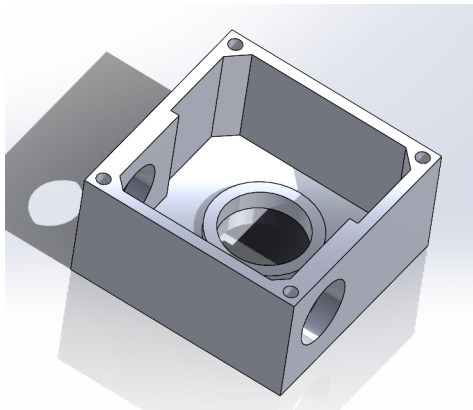
Durante el cálculo del módulo necesario para que el mecanismo resista, se obtuvo un valor de 0.16. Sin embargo, se decidió sobredimensionar este módulo a 1.6 en el diseño para lograr un sistema más práctico en términos de construcción, manipulación y mantenimiento.

7.7.7. Diseño de una caja robusta para sostener el mecanismo:

La caja es la estructura que sostiene al mecanismo y se encarga de ejercer la fuerza requerida. Como diseñador, se han tomado medidas para que el tamaño de la caja sea lo más pequeño y compacto posible, con el objetivo de minimizar el espacio necesario para la automatización. Se ha buscado reducir al máximo las dimensiones sin comprometer la funcionalidad y eficiencia del sistema. En la Figura 24 se puede observar la caja propuesta.

Figura 24

Diseño de la caja del mecanismo



Nota: La Figura 24 muestra el diseño realizado en SolidWorks.

7.7.8. Selección de componentes para el mecanismo

Durante el diseño del mecanismo, se eligen rodamientos, tornillos de avance y tuercas de tornillo sin fin. Se consideran aspectos como carga, fuerza, durabilidad y la necesidad de lubricación para los rodamientos. La selección adecuada de estos componentes asegura un funcionamiento eficiente, una vida útil prolongada y un rendimiento confiable del mecanismo en su conjunto.

- **Rodamientos** Se eligieron dos tipos de rodamientos con medidas específicas para el tornillo sin fin y la corona. Estos rodamientos se colocarán en el soporte para reducir la fricción en el mecanismo, asegurando un movimiento suave y una vida útil prolongada del sistema en general. Además, los rodamientos soportan cargas mucho más grandes que las necesarias para nuestro caso, que están determinadas por las ecuaciones 17 y 18, pero debido al tamaño establecido en el diseño de la caja, se optó por estos rodamientos.

En la Figura 27 se indica el rodamiento 61905-2RS1 y de igual forma en la Figura 25 se indica el rodamiento 608-2RSH.

Figura 25

Rodamiento 608-2RSH



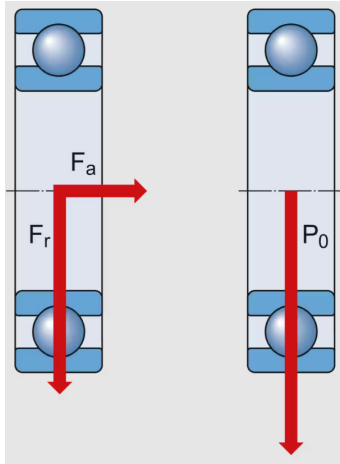
Nota: La Figura 25 muestra la selección del rodamiento 608-2RSH para el tornillo sin fin.

Para esta elección se consideró las distintas cargas aplicadas al mecanismo, ya que el rodamiento 608-2RSH va directamente en la caja acoplada al tornillo sin fin, se considera

la $F_a = 3.643 \text{ N}$ y se toma la fuerza tangencial que se ejerce en la corona de $F_r = 1.52 \text{ N}$. Las Fuerzas que se efectúan en el rodamiento se presenta en la Figura 26

Figura 26

Fuerzas en el rodamiento



Nota: La Figura 26 muestra las fuerzas que se aplican para el análisis del rodamiento.

En la ecuación 24 se realiza la carga límite de fatiga.

$$\begin{aligned} Pu &= Fr + Fa \\ Pu &= 1.52 + 3.6435 \\ Pu &= 5.1635N \\ Pu &= 0.0051635KN \end{aligned} \tag{24}$$

Analizando la Tabla 6 según sus características mecánicas del rodamiento es apto para el sistema.

Tabla 6

Características del rodamiento 608-2RSH.

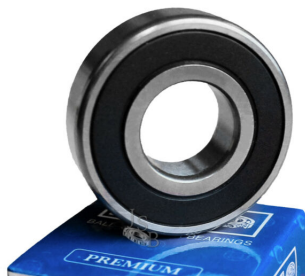
Datos del cálculo	Notación	Valor
Capacidad de carga dinámica	C	3.45 kN
Capacidad de carga estática	C0	1.37 kN
Carga límite de fatiga	Pu	0.057 kN
Factor de carga mínima	kr	0.025
Velocidad límite	-	22000 rpm

Nota: En la Tabla 6 muestra las características del rodamiento.

Por otro lado, para el rodamiento 61905-2RS1 se realizó los siguientes cálculos que se expresan en la ecuación 25.

Figura 27

Rodamiento 61905-2RS1



Nota: La Figura 27 muestra la selección del rodamiento 6902-2rsc3 para la corona

En la ecuación 25 se realiza la carga límite de fatiga. Para esta elección se consideró las distintas cargas aplicadas al mecanismo, ya que el rodamiento 61905-2RS1 va directamente en la caja acoplada al tornillo de avance, se considera la $F_p = 147$ N y se toma la fuerza tangencial que se ejerce en la corona de $F_t = 17.35$ N.

$$\begin{aligned}
Pu &= Fp + Ft \\
Pu &= 147 + 17.35 \\
Pu &= 164.35N \\
Pu &= 0.16435KN
\end{aligned}
\tag{25}$$

Analizando la Tabla 7 según sus características mecánicas del rodamiento es apto para el sistema.

Tabla 7

Características del rodamiento 61905-2RS1.

Datos del cálculo	Notación	Valor
Capacidad de carga dinámica	C	7.02 kN
Capacidad de carga estática	C0	4.3 kN
Carga límite de fatiga	Pu	0.193 kN
Factor de carga mínima	kr	0.02
Velocidad límite	-	10000 rpm

Nota: En la Tabla 7 muestra las características del rodamiento.

Para este apartado el rodamiento es apto para el mecanismo.

- Tornillo de avance** El tornillo de avance se indica en la Figura 28, este tornillo de avance tiene un diámetro de 10 mm con 4 entradas y un paso de 1 mm. La presencia de "4 entradas" significa que el tornillo tiene cuatro flancos de rosca, lo que mejora su eficiencia y capacidad de carga en comparación con los tornillos con menos entradas. Esta configuración es común en aplicaciones que necesitan un movimiento lineal preciso y rápido, como máquinas, herramientas, impresoras 3D y sistemas de posicionamiento.

Figura 28

Tornillo de Avance



Nota: La Figura 28 muestra la selección mas decuada para el mecanismo

■ Tuerca bronce

La tuerca de bronce de 10 mm es un componente fuerte y duradero del sistema de tornillo sin fin. Se acopla al tornillo de avance de forma precisa, permitiendo un movimiento lineal suave y preciso. Su elección se debe a su resistencia al desgaste, capacidad de carga y resistencia a la corrosión, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren un alto rendimiento y durabilidad, en la Figura 29 se indica la tuerca de bronce.

Figura 29

Tuerca de bronce



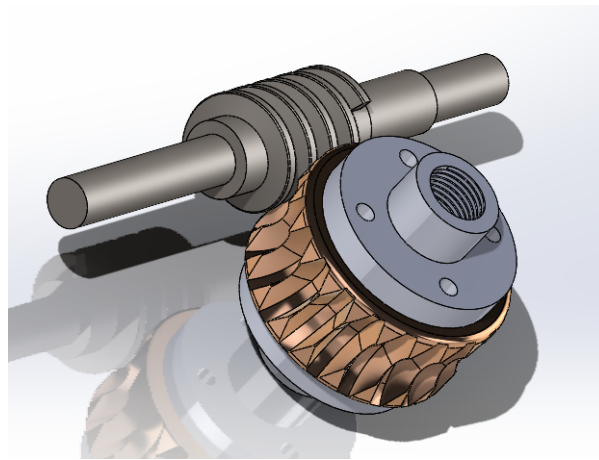
Nota: La Figura 28 muestra la selección mas decuada para el mecanismo

7.7.9. Ensamble del mecanismo para simulación

Para armar correctamente el mecanismo, se coloca el tornillo sin fin en un ángulo perpendicular a la corona para que la rosca del tornillo encaje con los dientes de la corona. Se traza una línea que indica la dirección del movimiento del tornillo. En la Figura 30 se muestra el ensamblaje de los componentes y su posición esperada.

Figura 30

Ensamble del mecanismo parte 1

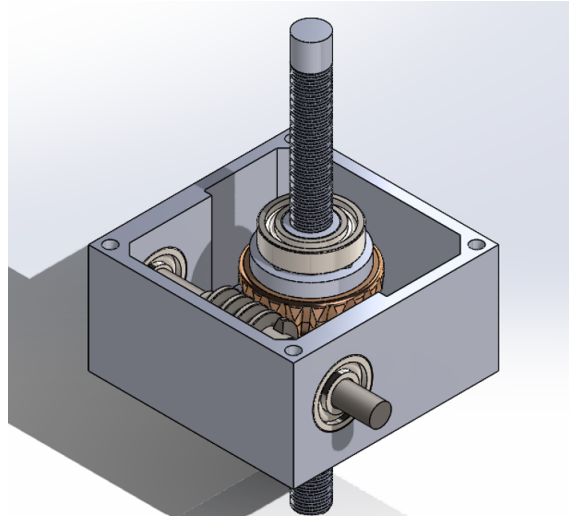


Nota: La Figura 31 muestra el ensamble del tornillo sin fin, la corona y las tuercas de bronce.

Las Figuras 31 y 32 muestran el sistema completamente ensamblado, incluyendo los rodamientos y todos los componentes. Primero, se colocaron los rodamientos en su posición adecuada. Luego, se ubicó el tornillo de avance, el tornillo sin fin y la corona en sus respectivos lugares. Este proceso garantizó que todos los componentes estuvieran correctamente alineados y conectados entre sí.

Figura 31

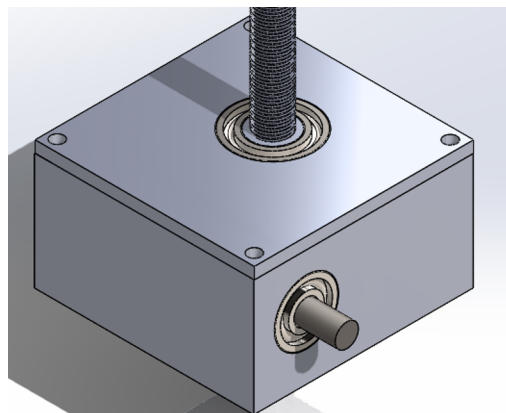
Ensamble del mecanismo parte 2



Nota: La Figura 31 muestra el ensamble con la caja y los rodamientos.

Figura 32

Ensamble del mecanismo completo



Nota: La Figura 32 muestra el ensamble de todo el mecanismo.

7.8. Propuesta de diseño electrónico

A continuación se presenta una propuesta de diseño electrónico para complementar el mecanismo mencionado:

- **Controlador**

Se utilizará un microcontrolador o un sistema embebido para controlar y supervisar el funcionamiento del sistema de tornillo sin fin-corona. El controlador se encargará de recibir las señales de entrada, procesarlas y generar las señales de salida necesarias para controlar los componentes eléctricos y electrónicos del sistema.

- **Sensor**

Se implementarán sensores para medir y monitorear variables clave del proceso, como la posición del tornillo sin fin y la corona, la velocidad de rotación, la presión, entre otros. Estos sensores proporcionarán retroalimentación al controlador, permitiendo ajustar y regular el sistema de manera precisa.

- **Actuador**

Se emplearán actuadores eléctricos para realizar las acciones necesarias en el mecanismo, como el accionamiento del tornillo sin fin, el movimiento de la corona y otras funciones relacionadas. Los actuadores serán controlados por el controlador a través de señales de salida adecuadas.

- **Interfaz de usuario**

Se integrará una interfaz de usuario, como una pantalla LCD o un panel táctil, que permita a los operadores interactuar con el sistema. A través de la interfaz, se podrán establecer parámetros de funcionamiento, visualizar información relevante y realizar ajustes según sea necesario.

- **Conexiones y comunicación**

Se incluirán conexiones y protocolos de comunicación para permitir la interacción con otros dispositivos o sistemas, como la conexión a una red de control o la comunicación con un sistema de supervisión y control más amplio.

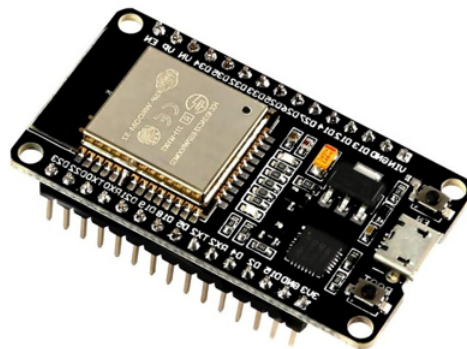
7.8.1. Selección del controlador

Se ha seleccionado el microcontrolador ESP32 para el control del proceso. Este dispositivo es altamente versátil y potente, ofreciendo muchas características y capacidades adecuadas

para este proyecto. El ESP32 tiene un procesador de doble núcleo y una alta velocidad de reloj, lo que le permite realizar tareas de procesamiento de manera eficiente, En la Figura 33 se indica el microcontrolador.

Figura 33

Controlador ESP32



Nota: La Figura 33 muestra el controlador ESP32.

7.8.2. Selección del sensor

Para la elección del sensor, se tienen dos propuestas: el sensor infrarrojo de velocidad Figura 34 y el sensor rotatorio Figura 35. Ambos sensores son capaces de proporcionar la posición o el conteo de vueltas del tornillo sin fin. Sin embargo, el encoder rotatorio presenta ventajas al adaptarse más fácilmente al mecanismo directamente, encajándose con el eje del tornillo sin fin y moviéndose conjuntamente con él. Esta señal del sensor rotatorio facilita el control preciso del número de vueltas del tornillo sin fin.

Figura 34

Sensor infrarrojo tipo encoder.

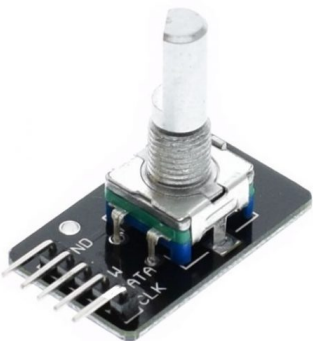


Nota: La Figura 35 muestra el sensor infrarrojo tipo encoder.

Por otro lado, el sensor infrarrojo tipo U requeriría cambios en el diseño del eje del tornillo sin fin, como la creación de una hélice para cortar la señal al sensor. El sensor infrarrojo es más adecuado para controlar la velocidad del sistema.

Figura 35

Sensor encoder rotatorio KY-040.



Nota: La Figura 35 muestra el sensor encoder rotatorio KY-040.

Al querer controlar el número de vueltas y tomando en cuenta lo antes mencionado, se

escoge el sensor rotativo KY-040. Este sensor ofrece varias características que pueden ser ventajosas para el diseño del sistema de tornillo sin fin-corona:

- **Resolución**

El KY-040 tiene una resolución estándar de 20 pulsos por revolución, lo que permite una medición relativamente precisa de la posición angular.

- **Interfaz de salida**

El KY-040 tiene una interfaz de salida de pulsos digitales, lo que facilita su integración con microcontroladores y otros dispositivos electrónicos. Los pulsos generados por el encoder pueden ser utilizados para determinar la dirección y la cantidad de movimiento del mecanismo.

- **Fácil integración**

El KY-040 es fácil de conectar y utilizar. Generalmente, se conecta a un microcontrolador mediante dos pines: uno para la señal de pulsos (output) y otro para el control de dirección (input). Esto simplifica la implementación y la programación del sistema de control.

7.8.3. Selección del actuador

La selección del actuador es una etapa fundamental en el diseño del sistema de tornillo sin fin-corona, ya que es el componente encargado de generar el movimiento y ejercer la fuerza necesaria para el funcionamiento del mecanismo.

Basándonos en los resultados obtenidos del torque aplicado en la corona, según la ecuación 22 donde $T = 7.64 \text{ Nm}$, podemos relacionar este valor con la relación de transmisión de 5. Al dividir el torque entre 5, obtenemos el torque necesario en el tornillo sin fin, siendo este $T = 1.528 \text{ Nm}$.

Para la selección del servomotor, se ha elegido el Servomotor Tower Pro MG996R con un torque de $13 \text{ kg} \cdot \text{cm}$. Esta elección se basa en los resultados obtenidos en los cálculos ya realizados, donde se calculó el torque requerido para el correcto funcionamiento del sistema. En la Figura 36 se muestra el servomotor que será utilizado.

Figura 36

Elección del servo motor.



Nota: La Figura 36 muestra el servo motor que será utilizado.

El servomotor Tower Pro MG996R con caja de reducción metálica es una excelente elección para este proyecto debido a su alto torque, precisión de posicionamiento y durabilidad. Además, es compatible con diversos controladores, lo que facilita su integración al sistema de tornillo sin fin-corona. Todo esto, sumado a su precio accesible, lo convierte en una opción muy adecuada.

7.8.4. Interfaz de usuario

La propuesta de interfaz de usuario incluye una botonera adicional que permite al usuario seleccionar los diferentes niveles de molienda: fina, media y gruesa.

Junto al display LCD, se colocará una botonera con botones designados para cada nivel de molienda. Estos botones serán etiquetados claramente, por ejemplo: fina, media y gruesa. Al presionar uno de estos botones, el sistema ajustará automáticamente los parámetros de molienda para alcanzar el nivel seleccionado.

Con esta combinación de display LCD y botonera, la interfaz de usuario permitirá al usuario elegir fácilmente entre los diferentes niveles de molienda. En la Figura 37 se indica el

modelo de interfaz para el usuario.

Figura 37

Propuesta de interfaz gráfica.

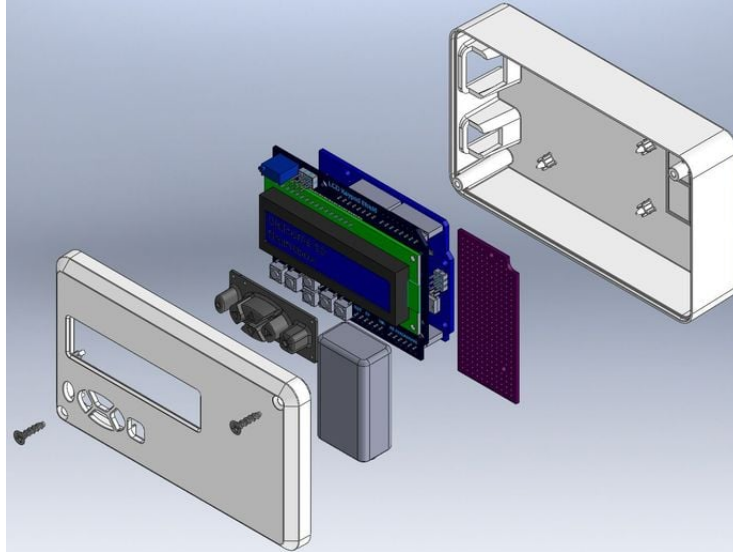


Nota: La Figura 37 muestra la propuesta de interfaz grafica.

A continuación, en la Figura 38 se muestra el despiece detallado de los componentes físicos que conforman la interfaz gráfica del sistema.

Figura 38

Despiece general electrónico.



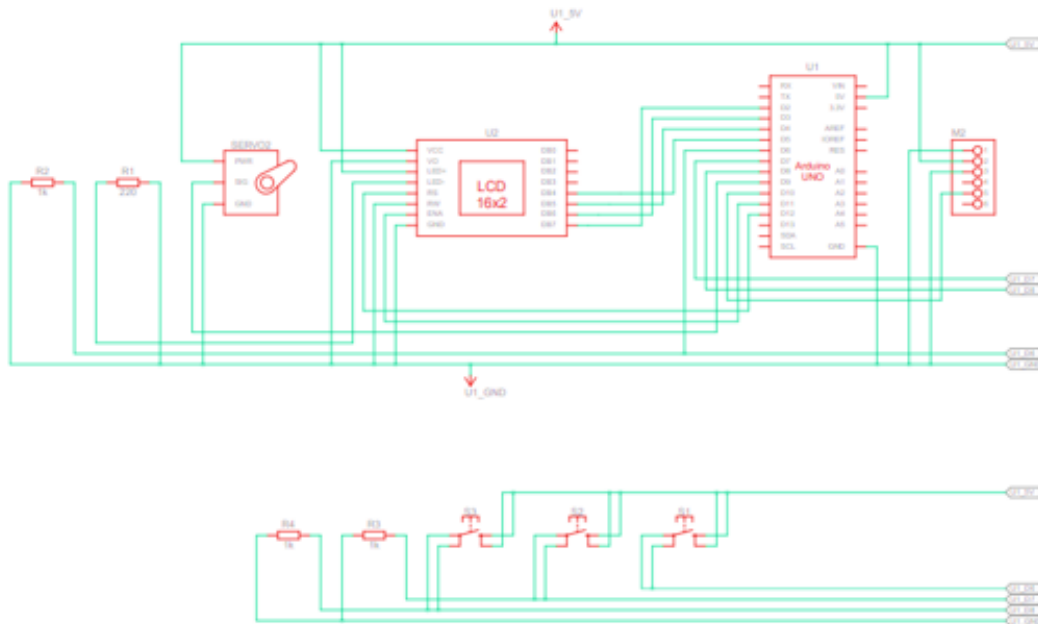
Nota: La Figura 38 muestra el despiece completo a la propuesta electrónica.

7.8.5. Conexiones y comunicación

Se establecerán las conexiones eléctricas entre los componentes de la interfaz, como el LCD, la botonera y otros elementos adicionales. A continuación, se presenta en la Figura 39 se adjunta la configuración detallada del sistema electrónico, incluyendo las conexiones entre los diferentes componentes y la forma completa del sistema.

Figura 39

Circuito electrónico.



Nota: La Figura 39 muestra el circuito completo a la propuesta electrónica, U2 es el LCD, U1 es el microcontrolador ESP32, M2 es el sensor encoder rotativo.

La Figura 39 detallada del sistema electrónico y sus conexiones proporciona una guía visual para el diseño, ensamblaje y configuración correcta de todos los componentes. Esto facilita el proceso de implementación y garantiza un sistema electrónico funcional y eficiente.

7.9. Propuesta de diseño de Control

El diseño mecánico de tornillo sin fin corona ofrece una protección de retroceso integrada, lo que evita movimientos no deseados o retrocesos bruscos en el sistema. Sin embargo, es importante tener en cuenta que con el uso continuo a lo largo del tiempo, puede haber una ligera variación en la calibración del sistema, de alrededor de 0.1 mm. Por ello, es importante realizar un seguimiento periódico del sistema para mantener la precisión dentro de límites aceptables. Si se detecta alguna desviación significativa en la calibración, es necesario realizar ajustes para asegurar el correcto funcionamiento y la precisión del sistema.

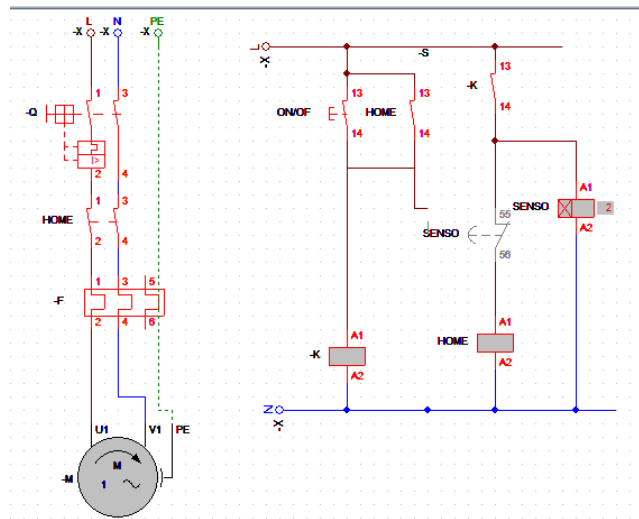
7.9.1. Control ON/OFF

Se ha optado por implementar un sistema de control on/off para el proceso de molienda. Con este sistema, el usuario puede controlar el funcionamiento del molino activando o desactivando un botón. Además, se ha incorporado una función de posicionamiento inicial que se activa automáticamente después de cada cambio brusco en la molienda, ya sea de fino a grueso o de grueso a medio.

La función de posicionamiento inicial asegura que el sistema de control comience desde una posición de referencia conocida después de cada cambio en la molienda. Al volver a la posición de inicio, el sistema reinicia su funcionamiento y está listo para recibir nuevas instrucciones de molienda. En la Figura 40 se muestra una simulación del control on/off.

Figura 40

Circuito eléctrico control on/off.



Nota: La Figura 40 muestra el circuito del control On Off.

7.10. Simulación del diseño mecánico y electrónico del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos

A través de la simulación, se puede evaluar el funcionamiento y rendimiento del sistema antes de su implementación práctica, lo que permite identificar posibles mejoras y

optimizaciones.

7.10.1. Simulación del diseño mecánico

Para la simulación del diseño mecánico, se utiliza software de modelado 3D, como SolidWorks, para crear un modelo virtual del sistema de regulación. Se definen las dimensiones, geometría y materiales de los componentes, como el tornillo sin fin, la corona, los rodamientos y el servomotor. Luego, se realizan análisis de resistencia, tolerancias y ajustes para asegurar un funcionamiento adecuado del mecanismo.

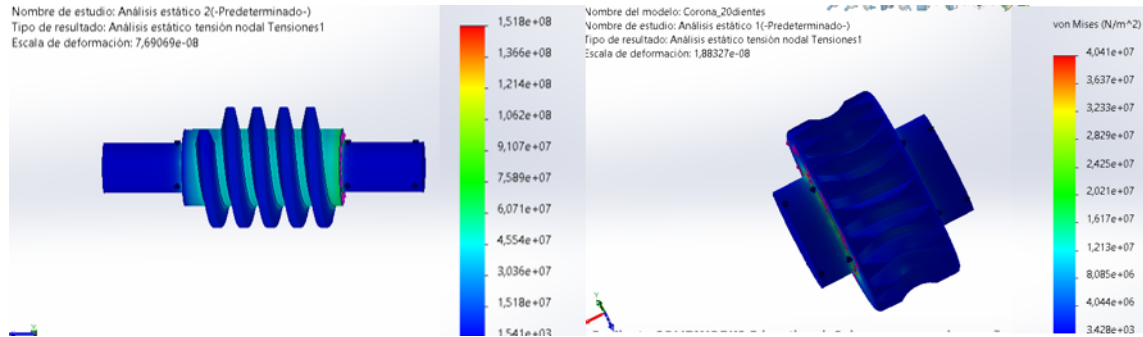
- **Análisis de esfuerzos:**

Para el análisis de tensiones y deformaciones, se ha utilizado el software SolidWorks para evaluar las cargas propuestas en el diseño del mecanismo de tornillo sin fin y corona, que están fabricados con materiales de acero AISI 10120 laminado en frío y bronce comercial USN C22000. Los resultados obtenidos demuestran una respuesta satisfactoria del sistema frente a las cargas aplicadas.

Los resultados del análisis revelaron que las tensiones generadas en los componentes del mecanismo, como el tornillo sin fin y la corona, se mantienen dentro de los límites aceptables de resistencia del material utilizado. Esto indica que el diseño del mecanismo es adecuado para soportar las cargas propuestas y proporciona un margen de seguridad suficiente. La Figura 41 muestra el análisis correspondiente.

Figura 41

Análisis de esfuerzos.



Nota: La Figura 41 muestra el análisis de esfuerzos referente a las fuerza tangencial y radial.

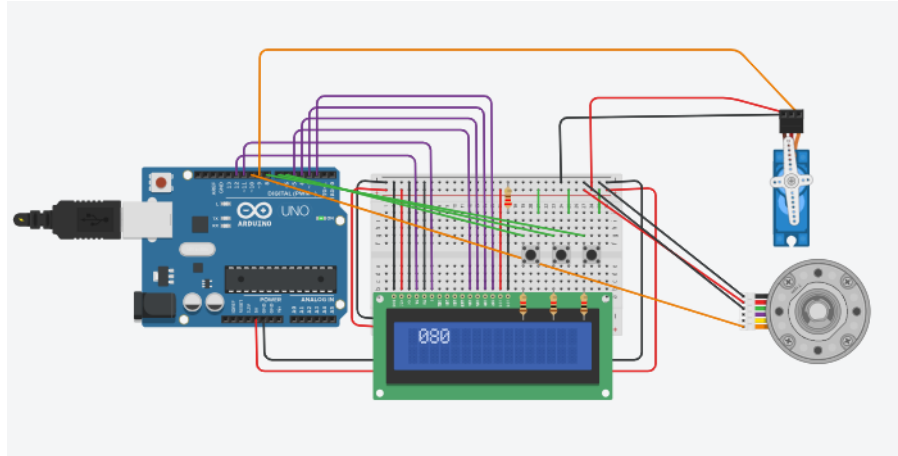
7.10.2. Simulación del diseño electrónico

Se realizó la simulación del circuito utilizando el software Tinkercad, donde se evaluó el funcionamiento de los encoders y el servomotor. Es importante destacar que, aunque el software no proporcionaba un controlador específico para la simulación, la programación utilizada es la misma que se implementaría en la práctica.

En la siguiente Figura 42 se detalla y se indica el funcionamiento completo del circuito, mostrando cómo se interconectan los componentes y cómo se lleva a cabo el control del sistema.

Figura 42

Simulación del circuito.



Nota: La Figura 42 muestra la simulación del circuito.

7.11. Análisis de costos

El análisis de costos se divide en tres categorías principales: mecánica, electrónica y otros gastos. En la parte mecánica, se incluyen los costos asociados al torneado y fresado de los componentes, como el tornillo sin fin de acero 1012 y la corona de bronce fosforoso. Además, se consideran los gastos relacionados con los rodamientos, tuercas, tornillos y la caja del mecanismo.

En cuanto a la parte electrónica, se detallan los costos de los componentes utilizados, como el controlador ESP32, el servo motor MG996R, los sensores o módulos encoder, el sensor de fin de carrera y la pantalla LCD. También se toma en cuenta la fabricación de cajas en 3D para alojar los elementos electrónicos.

El análisis de costos presentado en este estudio permitirá evaluar la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto, brindando una visión clara de los recursos financieros requeridos. En la Tabla 8 se detallan los gastos mecánicos. Con esta información, se podrá tomar decisiones informadas y asegurar una planificación adecuada para el desarrollo exitoso del sistema de tornillo sin fin-corona.

Mecánica:

Tabla 8*Detalle de costos mecánicos.*

Componentes	Cantidad	Precio (Unitario)	Total (dólares)
Tornillo de avance	1 (10 cm)	3	3
Tuercas de bronce	2	7.5	15
Rodamientos CMB 608 RS	2	7.5	15
Rodamientos CMB 6804	2	1.25	2.50
Fresado de la corona	4 horas	31.50	126
Torneado del tornillo sin fin	2 horas	31.50	63
Caja del mecanismo	1	80	80
Tornillos y tuercas extras	-	-	10
Total			314.5

Nota: En la Tabla 8 se observa los diferentes tipos de gastos utilizados para el mecanismo, los costos del mecanizado como fresadora y torno son altos ya que debe ser a precisión.

Electrónica:

Tabla 9*Detalle de costos electrónicos.*

Componentes	Cantidad	Precio (Unitario)	Total(dólares)
Controlador ESP32	1	10	10
Servo motor MG996R	1	10	10
Sensores/módulos encoder	2	4	8
Sensor de fin de carrera	1	0.8	0.8
Botones pulsadores	4	0.15	0.6
LCD o pantalla	1	4.50	4.50
Caja en 3D	4 horas	3.75	15
Total			48.90

Nota: En la Tabla 9 se observa los diferentes tipos de gastos utilizados para la parte de electrónica.

Gastos Varios:**Tabla 10***Detalle de gastos varios.*

Gastos	Cantidad	Precio (Unitario)	Total
Movilización	-	-	30
Gastos extras (tornillos, etc.)	-	-	10
Total			40

Nota: En la Tabla 10 se observa los diferentes tipos de gastos utilizados para la búsqueda de componentes.

Costo total del proyecto: El costo total del proyecto se puede calcular sumando los totales de la parte mecánica, electrónica y otros gastos: Costo total del proyecto = Costo mecánico + Costo electrónico + Otros = 314.5 + 48.90 + 40 = 403.40

Costos de diseño de la Automatización:

Tabla 11

Costos de diseño de la Automatización.

Diseño	Tiempo(horas)	Precio (Unitario por hora)	Total(dólares)
Investigaciones	30	2	60
Selección de partes mecánicas	18	2	32
Diseño de tornillo sin fin	15	2	30
Diseño de corona	22	2	44
Diseño de Case	16	2	32
Planos	12	2	24
Selección de partes electrónicas	15	2	30
Diseño eléctrico	9	2	18
Diseño electrónico	13	2	26
Programación	29	2	58
Simulaciones	30	2	60
Total			418

Nota: En la Tabla 11 se presentan los diferentes costos para el diseño de la automatización en el sistema de regulación de molienda.

Los valores de diseño para este proyecto se basan en una perspectiva a largo plazo, considerando el tiempo y el esfuerzo invertido en su desarrollo. Este proyecto ha pasado por un proceso de evaluación y análisis para garantizar la precisión y la calidad de los resultados obtenidos.

8. Resultados

Durante el estudio realizado, se han obtenido resultados significativos que se relacionan con los objetivos específicos del proyecto. A continuación, se presentan los resultados en función del orden de los objetivos y se establece su relación con el fundamento teórico del sistema mecánico, electrónico y de control.

8.1. Resultado diseño del sistema mecánico

Se ha logrado diseñar un mecanismo de tornillo sin fin corona que cumple con los requisitos de precisión y capacidad de carga establecidos en el fundamento teórico. Mediante cálculos y simulaciones, se ha determinado la geometría óptima para el mecanismo y se han seleccionado los materiales adecuados para garantizar un rendimiento eficiente y duradero del sistema.

8.2. Resultado diseño del sistema electrónico

El diseño del sistema electrónico incluye componentes como el controlador ESP32, el servo motor MG996R, sensor de posición y una pantalla LCD. Estos elementos trabajan juntos para controlar el mecanismo de regulación de molienda de manera precisa. El controlador recibe las señales, procesa la información y envía instrucciones para que el servo motor mueva el mecanismo. El sensor ayuda a saber la posición y el conteo de vueltas del tornillo sin fin. La pantalla muestra información útil para el operador y permite ajustar el sistema según sea necesario. En conjunto, este diseño garantiza un funcionamiento eficiente.

8.3. Resultado diseño del sistema de control

Se ha desarrollado un diseño de control on/off que permite al usuario activar y desactivar el sistema de molienda según sea necesario. Se ha implementado una función de posicionamiento inicio que asegura que el sistema inicie desde una posición de referencia conocida después de cada cambio brusco de molienda, proporcionando estabilidad y consistencia en el proceso.

9. Conclusiones

En conclusión, el diseño mecatrónico del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos ha logrado alcanzar los objetivos planteados y ha proporcionado resultados significativos. Se ha automatizado el sistema de regulación de molienda, reduciendo el tiempo de calibración que existía en el sistema manual anterior y obteniendo una calibración automática para diferentes tipos de molienda.

El análisis de tensiones y deformaciones ha demostrado que el mecanismo es lo suficientemente resistente para soportar las cargas aplicadas, garantizando su funcionamiento seguro y confiable.

El diseño mecatrónico ha permitido integrar de manera efectiva los componentes mecánicos, electrónicos y de control, brindando una solución integral al proceso de molienda. Se ha logrado diseñar un mecanismo de tornillo sin fin corona que cumple con los requisitos de precisión y capacidad de carga, y se ha seleccionado un microcontrolador, un encoder rotatorio adecuados para el control y la retroalimentación del sistema.

10. Recomendaciones

Como parte de las recomendaciones, se sugiere realizar investigaciones futuras que se enfoquen en aspectos relacionados con el tema desarrollado en este proyecto. Estas investigaciones podrían considerar variables o condiciones adicionales que no fueron abordadas en este trabajo de titulación.

Es importante ampliar el conocimiento en el campo mediante la exploración de nuevos parámetros o variables que podrían tener un impacto en el sistema de regulación de la molienda. Estas investigaciones podrían brindar una mayor comprensión de los factores que influyen en la calidad de la molienda y permitirían optimizar aún más el proceso.

Explorar otras áreas relacionadas o complementarias a la temática investigada. Esto podría incluir el análisis de diferentes tipos de granos o la evaluación de técnicas de control alternativas para el sistema de regulación.

Otras áreas de investigación pueden incluir el estudio de diferentes mecanismos de molienda para evaluar su eficacia en términos de calidad del producto final, así como la aplicación de técnicas de optimización para encontrar las configuraciones óptimas de los parámetros del sistema.

Referencias

- Abasolo, M., Navalpotro, S., Iriondo, E., y Corral, J. (2017). Diseño de máquinas. *Open-CourseWare*, ISSN, 2255–2316.
- Beléndez, T., Neipp, C., y Beléndez, A. (2002). Large and small deflections of a cantilever beam. *European journal of physics*, 23(3), 371.
- BELTRAN GOMEZ, O. (2013). *Estudio para la obtencion de almidon de maiz por molienda seca y extraccion de las proteinas* (Tesis Doctoral no publicada).
- Bermeo Martínez, D. C. (2014). Artículo científico-diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas.
- Calapaqui Toapanta, O. A., y Maiquiza Toapanta, L. O. (2020). *Diseño de un molino de rodillos triturador de grano*. (B.S. thesis). Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC.
- Calzetta Resio, A. N., Tolaba, M. P., y Suárez, C. (2006). Effects of steeping conditions on wet-milling attributes of amaranth. *International journal of food science & technology*, 41, 70–76.
- Guizado Díaz, J. N. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de máquina moledora de choclo con capacidad de 25 kg/h.
- Jokanović, M. R., Džinić, N. R., Cvetković, B. R., Grujić, S., y Odžaković, B. (2012). Changes of physical properties of coffee beans during roasting. *Acta Periodica Technologica*(43), 21–31.
- Jones, F. D., y Ryffel, H. H. (1984). *Gear design simplified*. Industrial Press Inc.
- Manrique, E. M., y Vera, V. J. (2022). *Cereales (técnicas de análisis)*. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Meza Montes, A. R., y Vargas Nascimento, C. (2021). Diseño y simulación de un molino compacto con transmisión interna para granos secos y cargue automatizado del producto.
- Norton, R. L. (2010). *Machine design*. Prentice Hall.
- Ortegas-Rivas, E. (2005). *Handling and processing of food powders and particulars, capítulo 4 en “encapsulated and powdered foods”, editado por onwulata c.* CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Ortiz-Domínguez, M., Cruz-Avilés, A., Duran-Sarabia, A. V., Valerio-Delgado, J., y cols. (2023). Engranés. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 10(19), 103–112.
- Pavón Céspedes, J. A. (2013). *Diseño y construcción de un molino artesanal para molienda de granos secos de capacidad 250 kg/h* (B.S. thesis). QUITO/EPN/2013.

- Roa Acosta, D. F. (2015). *Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Salas Lara, C. G. (2012). *Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del cestta-epoch* (B.S. thesis).
- Salazar Hoyos, G. A. (2015). construcción de un mecanismo tornillo sinfín-corona fabricado en resinas epóxicas para evaluar su desempeño.
- Semillas de vida. (2019). <https://www.semillasdevida.mx/products/molino-electrico-2-en-1-para-alimentos-secos-y-humedos-1500w-110v>, Agosto de 2019.
- Valencia Calvo, J. (s.f.). Bifurcación por impacto con esquina en el sistema leva seguidor. *Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.*

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 12

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es factible diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos obteniendo una calidad del producto homogéneo?	Diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos obteniendo una calidad del producto homogéneo.	Al diseñar un sistema mecatrónico para la regulación de molienda en diferentes tamaños de granos secos permitira mejorar la calidad del producto homogéneo.	-VI: Diseñar. -VD: Calidad.	Diseño mecatrónico para el proceso de molienda.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá establecer los parámetros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos para una mejor calidad de molienda?	Determinar los parámetros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos para una mejor calidad del producto.	Se determinará los parametros actuales del sistema de regulación para el proceso de molienda de granos secos establecerán una mejor calidad de molienda	-VI: Parámetros. -VD: Calidad.	Parametros para la regulación de molienda
¿Es posible diseñar un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos obteniendo la misma calidad del producto?	Se diseñará un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para el proceso de molienda de diversos granos obteniendo la misma calidad de molienda.	Diseñar un sistema mecánico, electrónico y de control del sistema de regulación para proceso de molienda de diversos granos propondrán la misma calidad del producto	-VI: Diseñar. -VD: Calidad.	Sistema mecatrónico.
¿Se podrá realizar un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda?	Realizar un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda.	Se realizará un análisis de costo de implementación del diseño mecatrónico para mejorar la calidad de molienda.	-VI: Diseño. -VD: Calidad.	Costo de implementación del diseño mecatrónico

Nota: La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

Anexo B: Operacionalización de Variables

La tabla 13 presenta la operacionalización de la variable dependiente: Calidad.

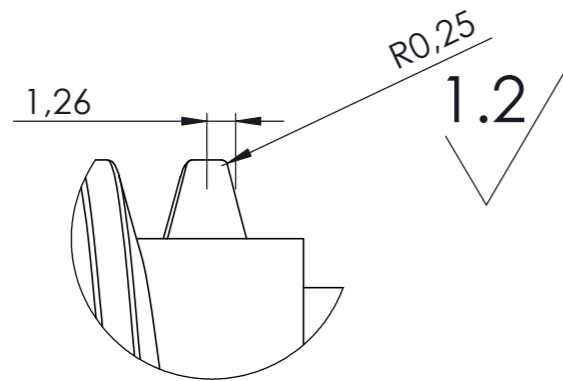
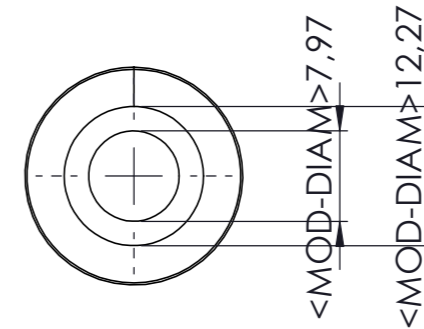
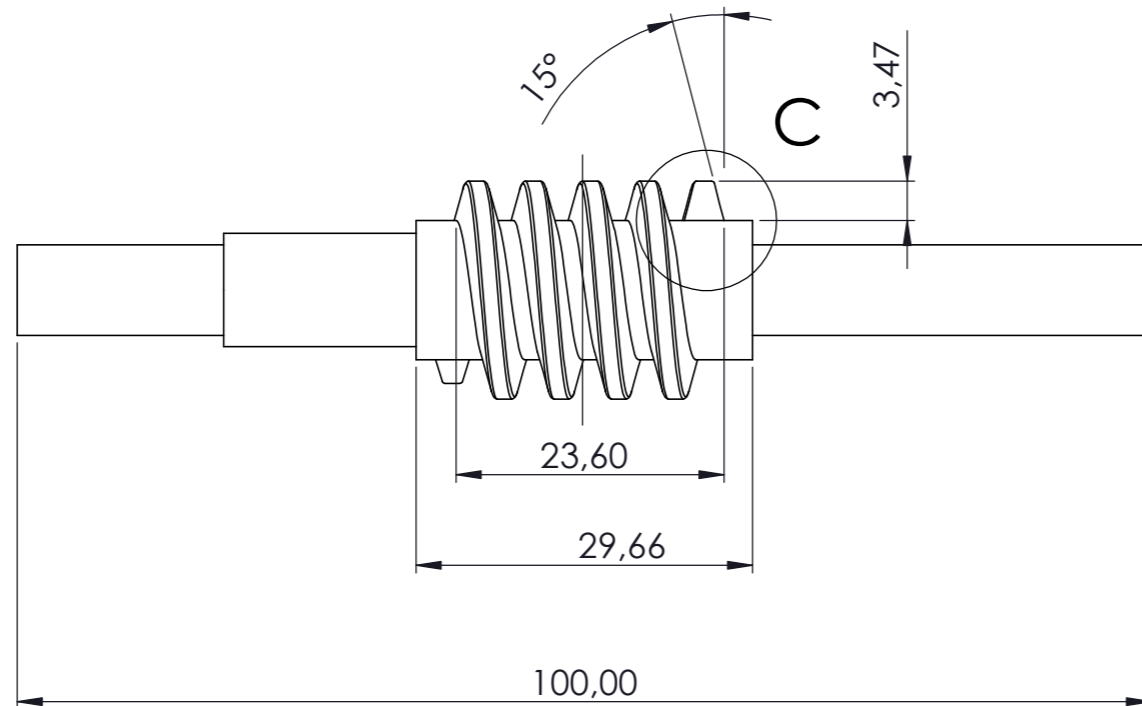
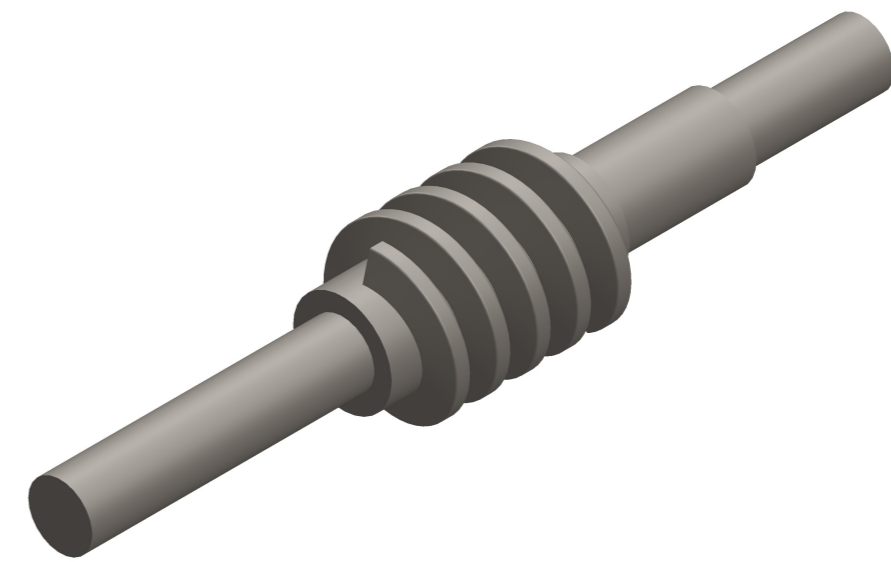
Tabla 13

Variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE: CALIDAD				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente
Calidad de molienda	Definición conceptual: En los cereales y semillas el propósito de la molienda es la obtención de productos intermedios de buena calidad que puedan ser utilizados posteriormente en la fabricación de alimentos de acuerdo a "Roa Acosta (2015)".	Calidad	Descalibración Molienda fina	Simulaciones(Mecanismo de control)
	Definición operacional: Es el grosor del producto obtenido por la molienda		Descalibración Molienda gruesa	

Nota: La tabla presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, aplicadas al proceso de molienda en granos secos, cada variable puede tener diferentes dimensiones y todas ellas deben ser medibles.

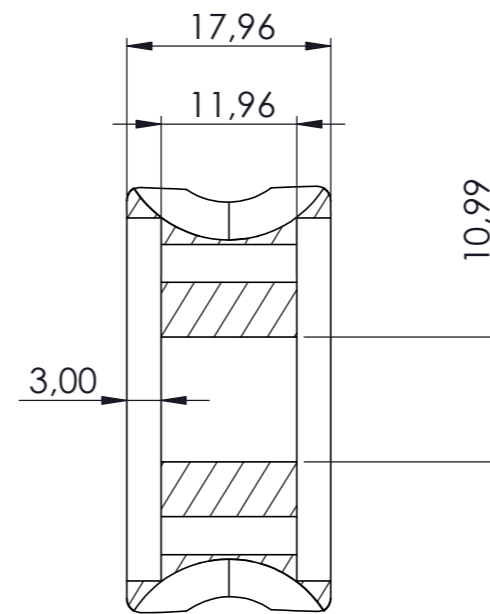
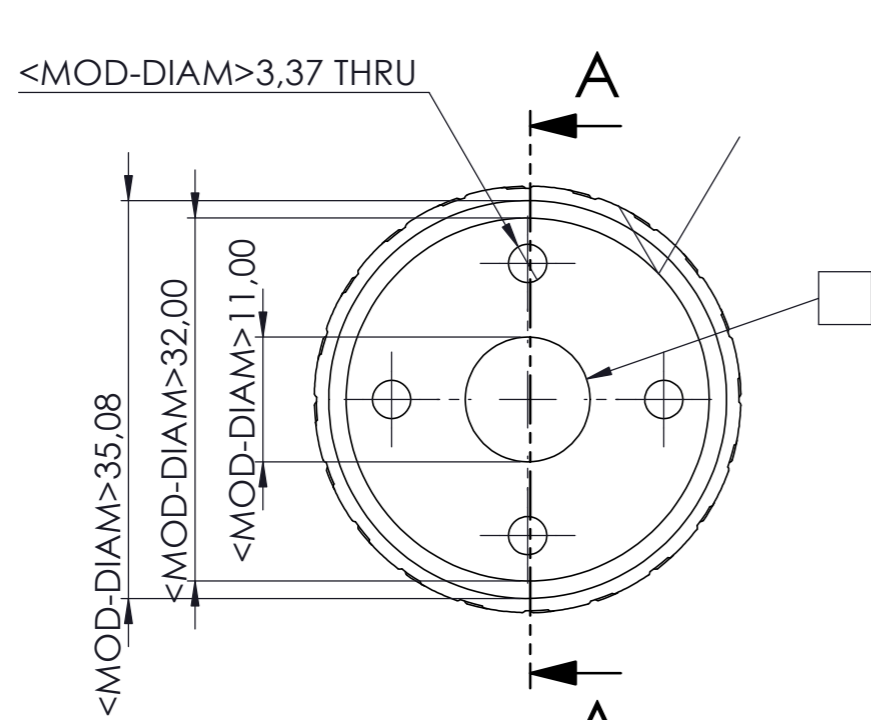
Anexo C: Planos del diseño Mecánico



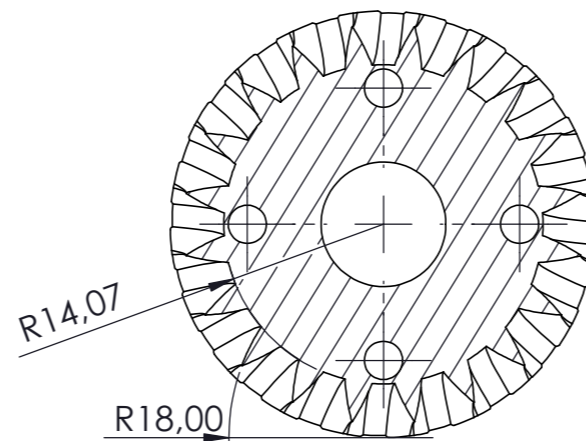
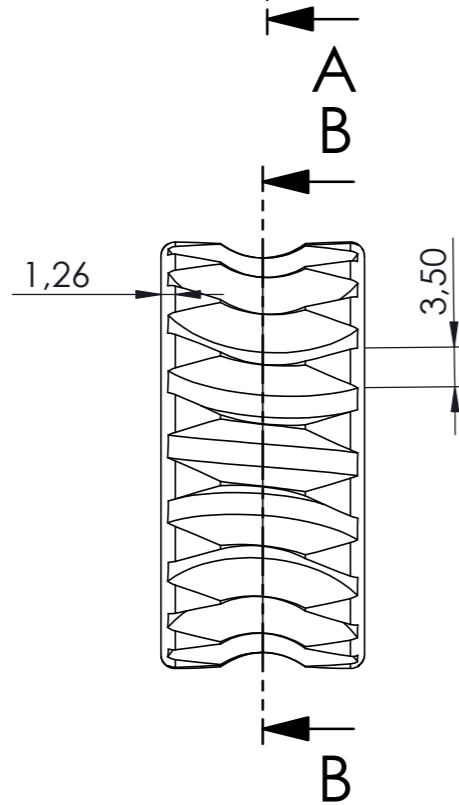
DETAIL C
SCALE 3 : 1

DATOS PARA Z	Abr.	Valor
Módulo normal	Mn	1.6
Nº de dientes	Z	20
Altura del diente	At	3.4
Inter eje	I	-----
Sentido de la hélice	→	Derecha
Calidad	D	ISO 2203

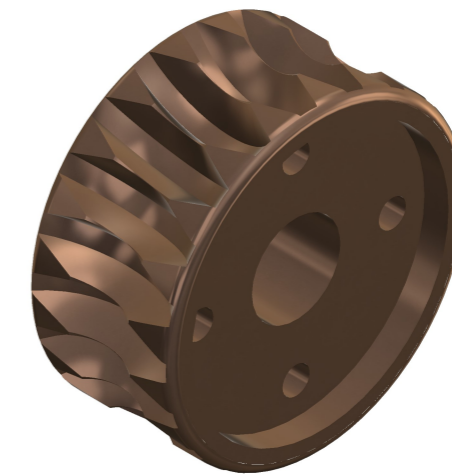
-----	1	Tornillo sin fin para Corona	Acero	AISI 1010	-----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
X CICLO	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	05/06/2023	Jonathan Tapia			
Comprobado	10/06/2023	Ing. J. Loja			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m				
Lámina:	CAV 01	TORNILLO SIN DIN DE 5 DIENTES			



SECTION A-A
SCALE 1:1

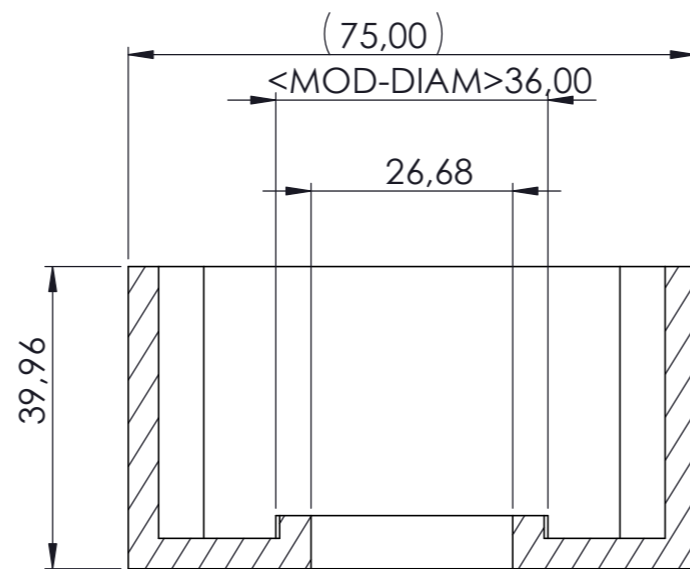
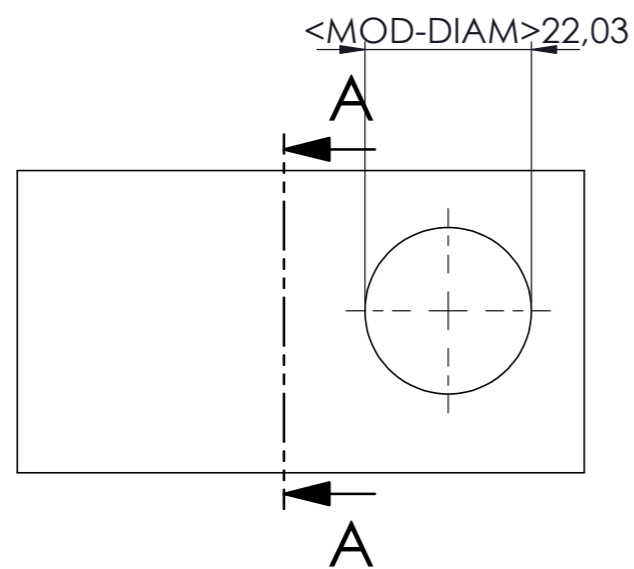
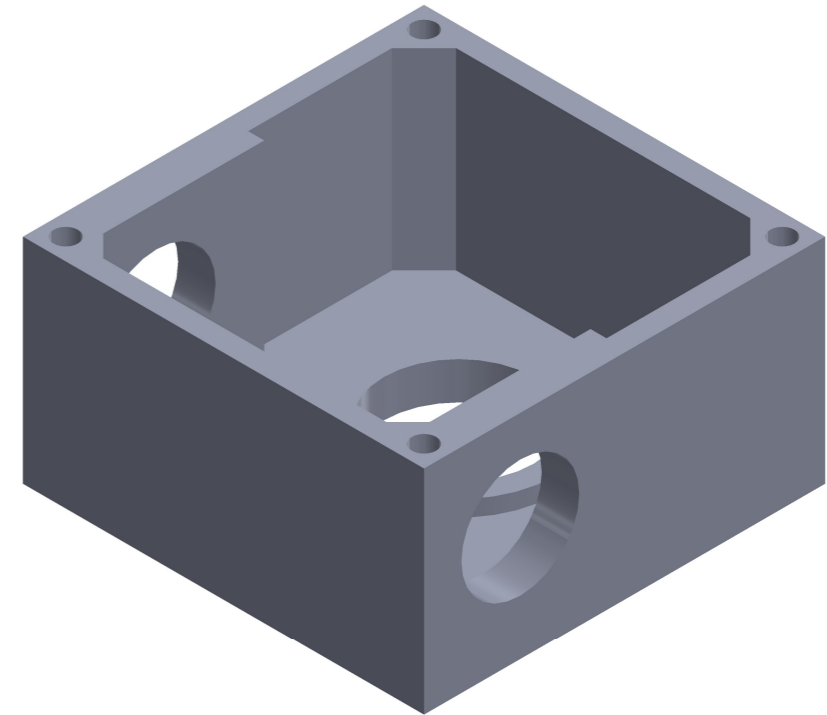
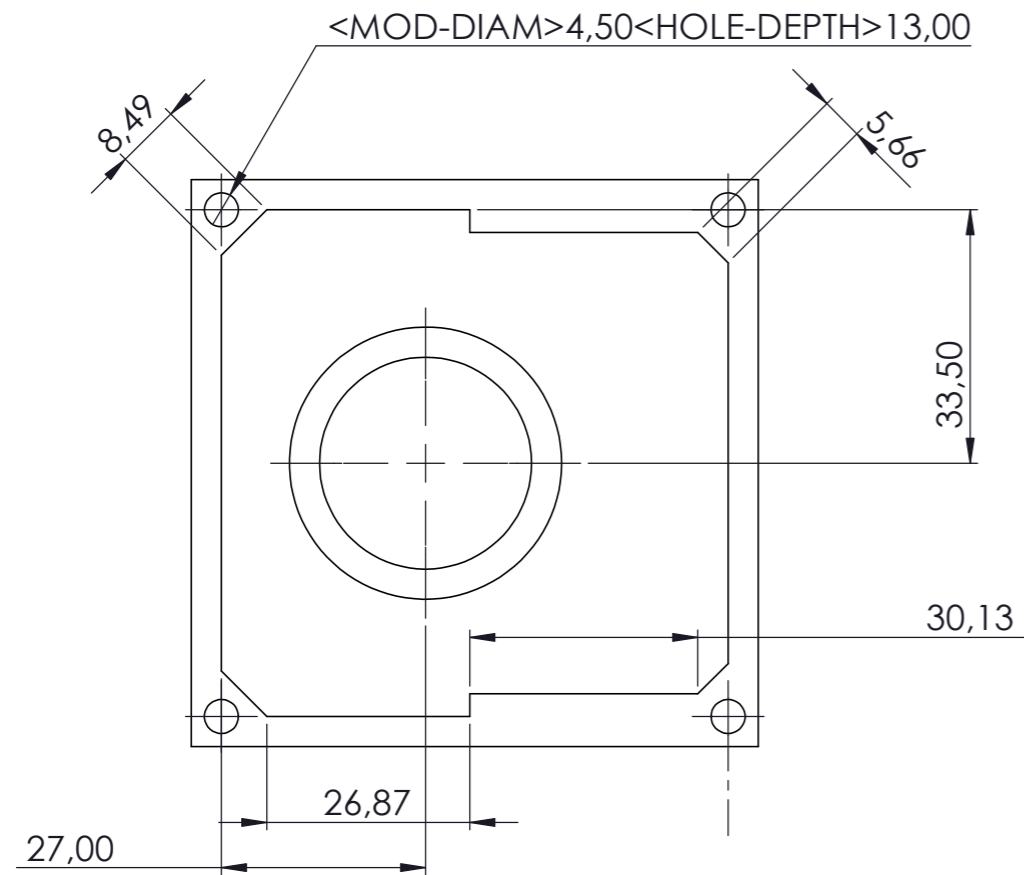


SECTION B-B
SCALE 1.5:1




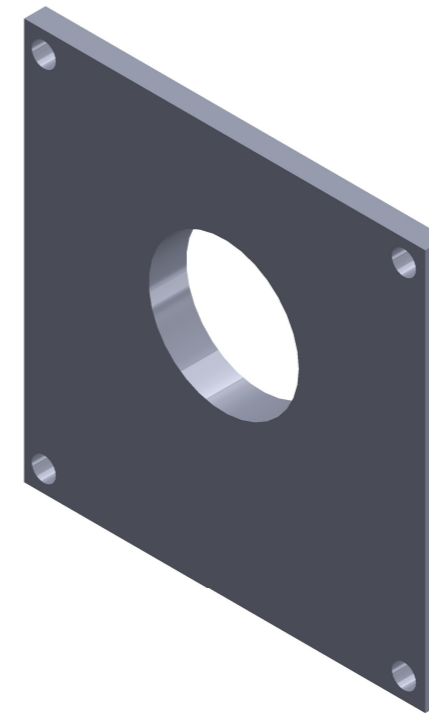
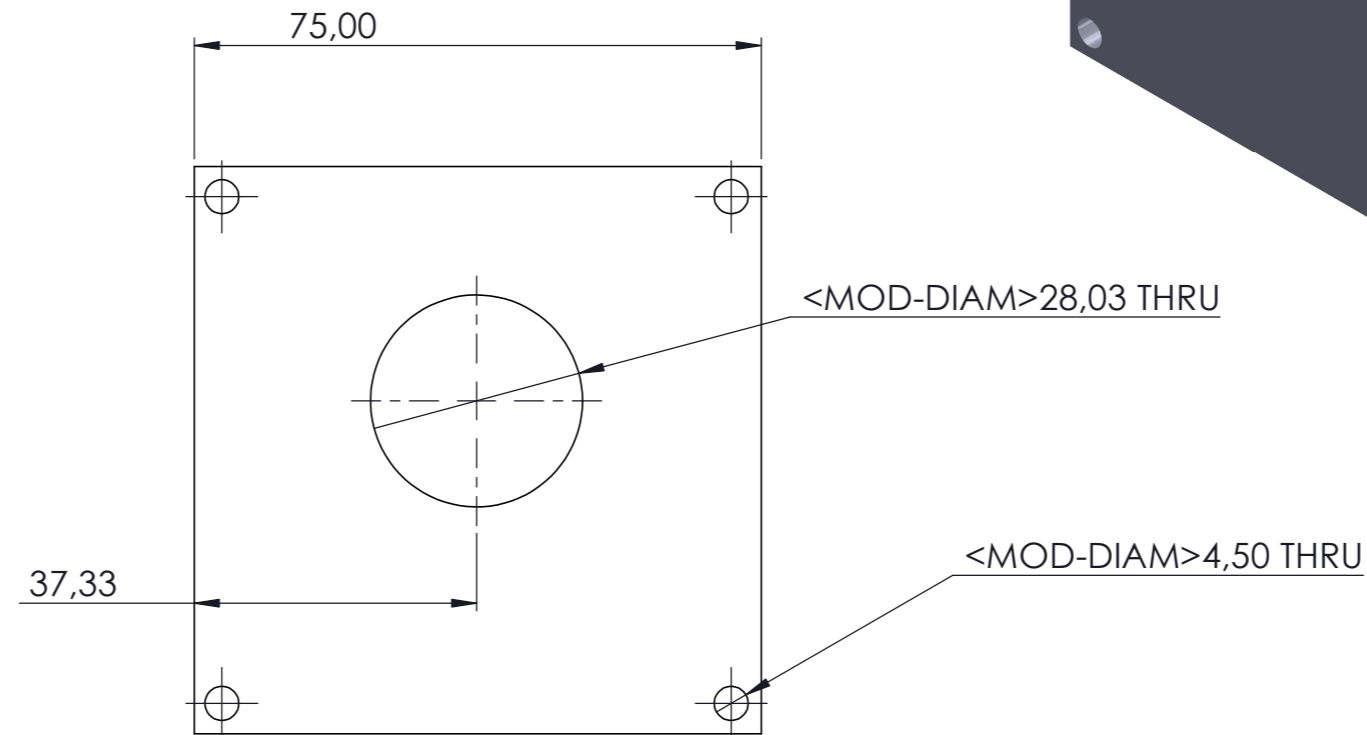
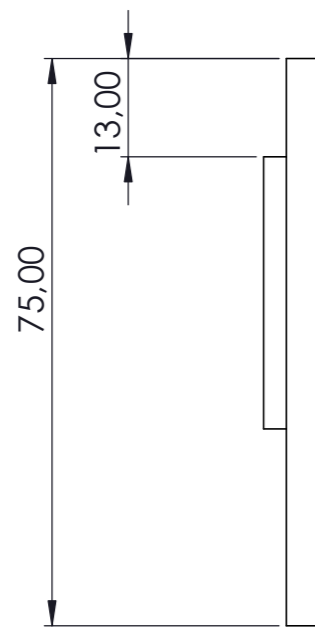
DATOS PARA Z	Abr.	Valor
Módulo normal	Mn	1.6
Nº de dientes	Z	20
Altura del diente	At	3.4
Inter eje	I	----
Sentido de la hélice	→	Derecha
Calidad	D	ISO 2203

----	1	Corona para tornillo sin fin	Bronce Fosfórico	UNS C52400	----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
X CICLO	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	28/05/2023	Jonathan Tapia			
Comprobado	10/06/2023	Ing. J. Loja			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m				
Lámina:	CORONA DE 20 DIENTES				
CAV 01					



SECTION A-A

----	1	Case del mecanismo	Acero	AISI 1010	----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
X CICLO	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Dibujado	15/06/2023	Jonathan Tapia			
Comprobado	17/06/2023	Ing. J. Loja			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:1	ISO 2768-m				
Lámina:	CAV 01	CASE DEL MECANISMO			



----	1	<i>Tapa del case</i>		ACERO	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma
X CICLO	Fecha	Nombre		 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica
Dibujado	15/06/2023	Jonathan Tapia			
Comprobado	18/06/2023	Ing. J. Loja			
Laboratorio de Máquinas Herramientas					
Escala: 1:1	Tol. gen.: ISO 2768-m	Subconjunto:			
Lámina: CAV 01		TAPA DEL CASE			