



Diseño y Simulación de un Molino Compacto con Transmisión Interna Para Granos Secos y Cargue Automatizado del Producto.

Alberto Raúl Meza Montes
Cristian Vargas Nascimento

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena de Indias, Colombia
2020

Diseño y Simulación de un Molino Compacto con Transmisión Interna Para Granos Secos y Cargue Automatizado del Producto.

Alberto Raúl Meza Montes
Cristian Vargas Nascimento

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director (a):
Ingeniero mecánico Juan Vicente Cajal Barros

Línea de Investigación:
Diseño y producción de sistemas electromecánicos

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena, Colombia
2020

A mis padres Alberto Meza y Janner Montes por su amor, formación, paciencia, aliento y apoyo incondicional en todo momento.

A toda mi familia por acompañarme en esta etapa de mi vida, dándome las ganas y el anhelo de salir adelante para brindarles lo mejor.

A todas las personas que de una u otra manera influenciaron mi vida para ser lo que hoy soy y dejaron en mi buenos valores y enseñanzas.

ALBERTO RAUL MEZA MONTES

A mis padres Maritza Nascimento Suarez y Reginaldo Vargas Herrera por su apoyo incondicional y exigencia.

A mi esposa Alexandra Viviana López Polo quien en ningún momento dejó de creer en mi y me impulso a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi hermana Verónica Vargas Nascimento por sus consejos y ayuda constante.

CRISTIAN VARGAS NASCIMENTO

Agradecimientos

Primeramente, agradecemos a Dios por todas las bendiciones recibidas, por acompañarnos en cada paso que dimos en este proceso universitario y por permitirnos desarrollar exitosamente este proyecto.

A nuestra familia, por ser fuente de motivación y apoyo incondicional en todo momento.

A nuestro director de programa y tutor de proyecto Juan Vicente Cajal, por su asesoría y gran colaboración.

A nuestra Universidad Antonio Nariño y a cada uno de los profesores que hicieron parte de nuestro proceso de formación por brindarnos sus conocimientos, ya que por ellos fuimos capaces de llevar a cabo nuestra propuesta. Además de todas las personas que hacen parte de nuestra universidad, que hacían posible el desarrollo de nuestras actividades académicas.

A todos nuestros compañeros, con los cuales compartimos mucho conocimiento y momentos inolvidables.

Resumen

El objetivo principal del presente proyecto es diseñar y simular un molino de discos por fricción, compacto, con transmisión interna, que pueda ser usado para el procesamiento de granos secos, mediante procesos automatizados, que tenga una capacidad molienda de trescientos kilogramos por hora. La finalidad es contribuir con el mejoramiento del producto final, los tiempos de producción y lograr que en su funcionamiento sea aplicada la menor intervención de fuerza humana posible, que es utilizada en los métodos convencionales para esta actividad. Con la aplicación del prototipo propuesto se verán favorecidas las pequeñas y medianas empresas que se dedican a la molienda de granos secos, permitiendo un mejoramiento en su línea de producción y aumento de su competitividad, además de asegurar el bienestar de sus usuarios. Se trata de un desarrollo tecnológico, dado a que con este se busca dar solución inmediata o en corto plazo a una situación problemática. Se realiza una simulación en el software CAD Solid Edge del diseño realizado observando el funcionamiento de sus partes en conjunto por lo que puede enmarcarse también en una investigación experimental. Los cálculos desarrollados y los métodos de selección pertinentes para lograr los objetivos propuestos, fueron realizados a los elementos mecánicos y eléctricos más importantes usados en prototipos de molinos de discos y maquinas automatizadas, como lo son, dimensiones de los tornillos sin fin, motorreductores, discos de molienda, rodamientos, y todos los elementos que son necesarios para que este prototipo sea una opción que contenga una alta capacidad y calidad en el procesamiento de granos secos.

Palabras clave: Molino compacto, granos secos, simulación, automatización, eficiencia, línea de producción.

Abstract

The main objective of this project is to design and simulate a compact friction disk mill with internal transmission for the processing of dry grains, through automated processes, with the capacity to grind three hundred kilograms per hour. The purpose is to contribute to the improvement of the final product, the production times and the least possible human force intervention used in the conventional methods for this activity. With the application of the proposed prototype, small and medium-sized companies dedicated to the milling of dry grains will be favored, they can be an improvement in their production line and increase their competitiveness, in addition to guaranteeing the well-being of their users. It is a technological development, given that it seeks to provide an immediate or short-term solution to a problematic situation. A simulation is performed in the Solid Edge CAD software of the design made observing the operation of its parts together so it can also be framed in an experimental investigation. The calculations developed and the selection methods used to achieve the proposed objectives were carried out on the most important mechanical and electrical elements used in prototypes of disk mills and automatic machines, as the dimensions of the endless screws, geared motors, grinding discs, bearings, and all the elements that are necessary for this prototype to be an option that contains a high capacity and quality in the processing of dry grains.

Keywords: Compact mill, dry grains, simulation, automation, efficiency, production line.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XII
Lista de anexos	XIII
<i>Introducción</i>	1
<i>0. Planteamiento del problema</i>	2
0.1 Descripción del Problema	2
0.2 Formulación del Problema	3
0.3 Justificación	3
0.4 Objetivos.....	4
0.4.1 Objetivo general	4
0.4.2 Objetivos específicos.....	4
<i>1. Marco de referencia</i>	5
1.1 Marco teórico	5
1.1.1 La molienda.....	5
1.1.2 Elementos importantes en la molienda	6
1.1.3 Tipos de molienda	6
1.1.4 Análisis por tamizado	7
1.1.5 Codificación CEMA.....	8
1.1.6 Leyes de desintegración usadas en la molienda.....	8
1.1.7 Naturaleza de las fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño	10
1.1.8 Requerimiento de energía y potencia en la desintegración.....	11
1.1.9 Energía potencial.....	11
1.1.10 Transmisión de potencia mediante ejes.....	11
1.1.11 Par torsional	12
1.1.12 Chaflanes	12
1.1.13 Factor de diseño.....	13

1.1.14 Selección de dimensiones de un eje.....	13
1.1.15 Acero AISI 316	14
1.1.16 Motores reductores en el mercado	14
1.2 Marco conceptual.....	14
1.2.1 Automatización.....	14
1.2.2 Cadena cinemática.....	15
1.2.3 Cade simu	15
1.2.4 Eficiencia.....	15
1.2.5 Molino.....	15
1.2.6 Rodamiento o cojinete.....	19
1.2.7 Solid Edge.....	19
1.2.8 Tamizado	19
1.2.9 Tornillo sin fin	20
1.3 Marco histórico.....	20
1.4 Antecedentes.....	22
1.4.1 Antecedentes internacionales.....	22
1.4.2 Antecedentes nacionales.....	25
1.5 Marco Legal	26
2. Diseño Metodológico	29
2.1 Metodología del proyecto.....	29
2.2 Metodología para el diseño electromecánico	30
3. Diseño Ingenieril.....	35
3.1 Selección de cadena cinemática.....	35
3.2 Requerimiento de energía para la desintegración del grano	36
3.3 Cálculo de potencia requerida por el tornillo de alimentación y selección de sus dimensiones.....	38
3.3.1 Determinación del tipo, tamaño y velocidad.....	39
3.3.2 Especificaciones del tornillo.....	40
3.3.3 Potencia requerida por el tornillo de transporte	42
3.4 Cálculos para los discos de molienda	43
3.4.1 Disco de molienda fijo cara interior.....	43
3.4.2 Disco de molienda móvil cara interior	44
3.5 Calculo del eje del molino	45
3.6 Selección de dimensiones tornillo sin fin de molino.....	48
3.6.1 Potencia para el tornillo sin fin.....	49

3.7 Selección de motorreductores de alimentación y molienda.....	51
3.7.1 Motoreductores Corona sin fin serie XC-CM.....	51
3.8 Selección de rodamiento.....	52
3.9 Calculo de dimensiones y capacidad de la tolva de transporte.....	54
3.10 Parte eléctrica y controles.....	58
3.10.1 Selección de elementos eléctricos.....	60
4. Resultados.....	65
4.1 Simulación.....	65
4.2 Costos de construcción.....	67
4.3 Operación segura y mantenimiento.....	69
4.3.1 Procedimiento de operación segura.....	69
4.3.2 Mantenimiento.....	71
5. Conclusiones y recomendaciones.....	73
5.1 Conclusiones.....	73
5.2 Recomendaciones.....	74
Anexos.....	75
Bibliografía.....	109

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1-1: Chaflán agudo en ejes.....	12
Figura 1-2: Molino de rulos y muelas.....	16
Figura 1-3: Molino de discos.....	16
Figura 1-4: Molino de barras.....	17
Figura 1-5: Molino de bolas	17
Figura 1-6: Molino de rodillos	18
Figura 1-7: Sistema de molienda con molino a martillos engormix	18
Figura 1-8: Molino de disco único	19
Figura 1-9: Molino de mano barquiforme.....	20
Figura 1-10: Molino de sangre.....	21
Figura 1-11: Molino de viento	21
Figura 1-12: Molino vertical de rodillos	22
Figura 2-1: Metodología del proyecto	30
Figura 2-2: Forma de tolva propuesta.....	32
Figura 3-1: Cadena cinemática del molino con transmisión interna	35
Figura 3-2: Esquema tornillo sin fin	38
Figura 3-3: Esquema 2 de tornillo sin fin.....	45
Figura 3-4: Diagrama de fuerzas sobre el eje	46
Figura 3-5: Construcción tornillo sin fin.....	49
Figura 3-6: Dibujo esquemático tornillo sin fin molino	50
Figura 3-7: Esquema y partes de rodamiento y chumacera.....	53
Figura 3-8: Características chumacera propuesta	53
Figura 3-9: Tolva, dimensiones iniciales.....	55
Figura 3-10: Cara frontal de la tolva inicial.....	55
Figura 3-11: Triangulo rectángulo de referencia	56

Figura 3-12: Cara frontal de la tolva final	56
Figura 3-13: Circuito eléctrico de control del molino de transmisión interna	58
Figura 3-14: Circuito eléctrico de control compuerta lógica PLC	59
Figura 3-15: Circuito eléctrico de fuerza del molino de transmisión interna	59
Figura 3-16: Tabla potencias nominales motores trifásicos de inducción.....	60
Figura 3-17: Diagrama unifilar del motor trifásico seleccionado	61
Figura 3-18: Características principales sensor propuesto	63
Figura 4-1: Vista lateral del molino compacto sin armazón	65
Figura 4-2: Funcionamiento del molino.....	66
Figura 4-3: Presentación final de molino.....	67
Figura 4-4: Lista de chequeo para operación del molino.	70

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Tipos de molienda.....	6
Tabla 1-2: Análisis por tamizado.....	7
Tabla 1-3: Tipos de fuerza predominantes para molienda	10
Tabla 3-1: Diámetros granos propuestos	37
Tabla 3-2: Dimensiones resumidas tornillo sin fin tolva de alimentación	41
Tabla 3-3: Especificaciones tornillos sin fin.....	48
Tabla 3-4: Diámetro del eje y potencia del tornillo sin fin	49
Tabla 3-5: Dimensiones resumidas tornillo sin fin molino.....	51
Tabla 3-6: Motorreductores.....	52
Tabla 4-1: Costo componentes eléctricos	67
Tabla 4-2: Costo elementos mecánicos	68
Tabla 4-3: Costo equipos.....	68
Tabla 4-4: Costo mecanizado y mano de obra.....	68

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A-1. Plancha estructura base o esqueleto de molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.....	786
Anexo A-2. Plancha Tolva principal de recepción de materia prima. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	797
Anexo A-3. Plancha Tornillo sin fin tornillo tolva. Vista frontal, lateral, isométrica.	78
Anexo A-4. Plancha recipiente de recolección de materia procesada. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	8179
Anexo A-5. Plancha patas de la estructura. Vista frontal, superior, lateral, isométrica. ..	820
Anexo A-6. Plancha rodachines para fácil desplazamiento. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.....	831
Anexo A-7. Plancha Base del motor. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	842
Anexo A-8. Plancha Tapa del tornillo sin fin superior. Vista frontal, lateral, isométrica. ...	853
Anexo A-9. Plancha rodamiento. Vista frontal, lateral, isométrica.	864
Anexo A-10. Elementos que componen el molino.	875
Anexo A-11. Plancha carcaza de molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	886
Anexo A-12. Plancha cabezal del molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	897
Anexo A-13. Plancha tornillo sin fin molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	9088
Anexo A-14. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	891
Anexo A-15. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	920
Anexo A- 16. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	91
Anexo A- 17. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.	92
Anexo A- 18. Plancha tolva receptora. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.....	93
Anexo B-1 Cadena cinemática tolva.....	94
Anexo B-2 Cadena cinemática molino.....	95

Anexo C-1 Propiedades de los materiales clasificación CEMA.....	96
Anexo C-2 Características de los materiales	¡Error! Marcador no definido.
Anexo C-3 Selección del factor relativo al paso del tornillo.....	98
Anexo C-4 Selección del factor de capacidad relativo al tipo de hélice.....	98
Anexo C-5 Capacidad por revolucion.....	99
Anexo C-6 Máximo tamaño de grano equivalente	99
Anexo C-7 Selección de factor de diámetro del transportador	100
Anexo C-8 Factor para el porcentaje de carga relativo al tipo de hélice	100
Anexo C-9 Eficiencia motriz.....	100
Anexo C-10 Densidad de los granos	101
Anexo D-1. Esquema eléctrico de Control	102
Anexo D-2. Esquema eléctrico de fuerza.....	103
Anexo E-1 Presentación de Molino compacto con transmisión interna.....	104
Anexo F-1 Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión.....	105
Anexo F-2 Selección de factor por tamaño	105
Anexo F-3 Factores de confiabilidad aproximados	106
Anexo F-4 Propiedades de diseño para aceros al carbon	106
Anexo G-1 Formato mantenimiento molino compacto con transmisión interna para granos secos.....	107

Introducción

En Colombia son consumidos y usados muchos productos procesados usando como materia prima los granos, debido a que son cosechados en este país, por ende, existe abundancia y facilidad para obtenerlos, según Villanueva (2018) el territorio nacional utilizado para la agricultura equivale a un 16,5% (aproximadamente 7,1 millones de hectáreas). Estos tradicionalmente han sido base de la alimentación y son procesados de forma manual, separándolos y moliéndolos o triturándolos para darles un uso o fin. Los encargados de procesar el grano como lo son agricultores, vendedores de alimentos a base de granos, pequeñas y medianas empresas, gastan largo tiempo y energía en esta actividad. Las pequeñas y medianas empresas del país y especialmente las de la región caribe no cuentan con tecnología, ni los recursos necesarios para la compra de maquinaria avanzada necesaria para mejorar sus procesos y de esta forma brindarles a la región productos de calidad.

En este trabajo de investigación se muestra el diseño y cálculo de un molino con capacidad para moler 300 Kg/h, además de la automatización del proceso convencional, con el fin de hacer posible la construcción de una máquina para moler granos secos, con el cual estas empresas puedan satisfacer las necesidades requeridas para obtener producto final deseado.

Se realiza una revisión bibliográfica relacionada con la temática específica a desarrollar, luego se procede a la elaboración de los cálculos necesarios por cada elemento para su selección, que posteriormente serán implementados en la simulación del proceso de molido. Además de la aplicación de dispositivos, como por ejemplo sensores que posibiliten la automatización del proceso y la menor participación o uso de fuerza humana.

0. Planteamiento del problema

0.1 Descripción del Problema

En Colombia la explotación del campo está compuesta en gran medida por actividades del área agrícola como parte del sector primario de la economía. Dentro de la agricultura existe una actividad significativa, que es el cultivo y la cosecha de frutos secos, para obtener mayor provecho de estos productos, es necesario que sean procesados con diversos fines, como el abastecimiento alimenticio y la producción de compuestos para productos de la industria textil, cosmética, aseo, etc. De hecho, la agricultura en Colombia es de mucha importancia, aunque en estos momentos se enfrenta a factores que limitan el crecimiento del sector, incluyendo aquí la baja inversión en investigación agrícola de acuerdo a Technoserve (2015).

La falta de apoyo a este sector por parte de los entes gubernamentales encargados ha hecho que específicamente las pequeñas y medianas empresas, sigan usando los métodos convencionales para este proceso. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo DNP (2019) en el periodo 2019-2020 el 54.8 %, de las unidades de producción de este sector no tiene acceso a asistencia técnica, maquinaria o infraestructura, es decir a tecnologías que permitan el mejoramiento de la producción y avance. Es posible encontrar molinos eléctricos a un precio relativamente bajo, que han disminuido un poco los tiempos de producción, pero no contienen un sistema automatizado que proteja sus componentes y que disminuya de manera considerable el uso de fuerza humana.

De esta manera las pequeñas y medianas empresas del sector no serán competitivas dentro de un mercado que va creciendo en conjunto con la tecnología y la diversidad de métodos de vanguardia que se utilizan para el procesamiento de los granos secos.

0.2 Formulación del Problema

¿Cómo diseñar un molino compacto con transmisión interna para granos secos y cargue automatizado del producto que aumente el procesamiento de materia prima?

0.3 Justificación

La situación actual que atraviesan las industrias colombianas como lo son las encargadas de los sectores alimenticio, textil y agropecuario, en las cuales la falta de apoyo externo ha hecho que su modo de producción, sea de cierta manera anticuado, haciendo que los dueños de estas noten la necesidad de inversión en procedimientos mucho más completos en innovadores, así como también en maquinaria nueva, que aumente la eficiencia de su proceso de producción. Sin embargo, a pesar de las grandes capacidades y posibilidades que ofrece el sector agrícola en Colombia, este está en peligro debido a la alta pobreza de la población rural, se estima que alrededor del 50% de la población en Latinoamérica vive por debajo de ese valor, teniendo en cuenta aspectos como la informalidad, que frena significativamente la producción agrícola citado en Portafolio (2019).

La elaboración de este proyecto es justificada desde el ámbito de la ingeniería, y el ámbito social, ya que en el diseño y la simulación del molino son requeridos criterios y parámetros de diseño importantes y necesarios para su perfecto funcionamiento, además, de que trae consigo beneficios para los usuarios teniendo en cuenta que en el desarrollo de la actividad de molienda convencional es muy necesario el uso de fuerza humana, limitándose a la energía del operario. Lo anterior quiere decir que el desarrollo del diseño y la aplicación de este permitirá que exista un aumento en la productividad, reducción de tiempo de producción y la disminución significativa del uso de energía humana, por lo que dependerá menos de esto y lograra incluso evitar enfermedades laborales relacionadas con el sobre esfuerzo que implica procesar una gran cantidad de material en poco tiempo. Por todo lo ya mencionado es notoria la alta importancia de este proyecto, ya que se reafirmarán y se aplicará toda la información y aprendizaje obtenido en el transcurso de la carrera, las

pequeñas y medianas empresas contarán con el diseño de un molino que optimizará el proceso de producción minimizando costos y tiempos en su producción y se contribuirá al mejoramiento de la calidad de vida del usuario.

0.4 Objetivos

0.4.1 Objetivo general

- Diseñar un molino compacto con transmisión interna para granos secos y cargue automatizado de producto que aumente el procesamiento de materia prima.

0.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar la cadena cinemática adecuada para el molino de granos secos.
- Calcular y/o seleccionar los elementos electromecánicos necesarios para a automatización del molino de granos secos.
- Simular el funcionamiento de la máquina con la ayuda de un software CAD (Solidwork, Solid edge, Inventor, etc.)
- Elaborar la documentación requerida para la operación segura y adecuada para la gestión del mantenimiento del equipo.

1. Marco de referencia

1.1 Marco teórico

1.1.1 La molienda

El procesamiento de materiales pertenecientes a la industria agrícola, química y minera, usualmente es necesaria la adecuación del tamaño de partículas, para seguir con la cadena de producción de un proceso específico o para su uso como producto final. La molienda es aplicada a todas las actividades en las que las partículas sólidas requieren ser cortadas o rotas y transformarse en partículas de menor tamaño. Este proceso en la industria y en la cotidianidad es llevado a cabo por medio de diferentes métodos dependiendo del producto final esperado. Como, por ejemplo, en la molienda de alimentos como granos y cascara de los frutos secos, la fabricación de materia para la confección, la molienda de polímeros termoplástico para su reciclaje. Los productos en el comercio deben cumplir con diversas características en lo que respecta a su tamaño, forma y a la adecuación de sus propiedades.

En varios sectores, generalmente en la industria, es necesario el uso de diferentes materiales que requieren que sus características sean modificadas para cumplir tareas específicas y así completar una actividad, por lo que se nota la gran importancia del proceso de molienda en una cadena de producción. El cambio de las características de los materiales procesados en la molienda es posible mediante la aplicación de energía mecánica para su desintegración y la aplicación procesos de clasificación y separación de partículas, que tiene en cuenta tamaño y peso del producto requerido.

1.1.2 Elementos importantes en la molienda

Los parámetros principales que deben ser tenidos en cuenta en el proceso de molienda de materiales, que influyen directamente son:

- Velocidad Crítica.
- Relaciones entre los elementos variables de los molinos.
- Tamaño máximo de los elementos moledores.
- Volumen de carga.
- Potencia.
- Tipos de Molienda: húmeda y seca.

1.1.3 Tipos de molienda

Molienda Húmeda y Molienda Seca

La molienda puede ser realizada a material seco o a suspensiones de sólidos en agua, lo que sería la molienda Húmeda. Usualmente la molienda es seca en procesos como la fabricación del cemento y es húmeda al momento de preparar minerales para concentración. En la molienda húmeda el material que se va moler es inmerso en agua, lo cual eleva su humedad, facilitando su manejo y transporte. En la molienda húmeda moderna, cuando se trituran las partículas, se procede a clasificar estas partículas hidrociclones y si es necesario concentrar este mineral, este proceso se podrá realizar mediante flotación por espumas. Además, el agua añade un efecto refrigerante al material, disminuyendo el calor generado en interior. [2]. En la tabla 1-1 se indican algunas diferencias entre la molienda húmeda y la molienda seca.

Tabla 1-1: Tipos de molienda

Molienda Húmeda	Molienda Seca
Requiere menos potencia por tonelada tratada	Requiere más potencia por tonelada tratada
No requiere equipos adicionales para el tratamiento de polvos	Sí requiere equipos adicionales para el tratamiento de polvos

Molienda Húmeda	Molienda Seca
Consume más revestimiento (por corrosión)	Consume menos revestimiento

Fuente: Tomado de [3]

1.1.4 Análisis por tamizado

Para realizar la clasificación de los materiales triturados o pequeños por estado natural como los materiales al granel, son utilizados tamices estándar, los cuales permiten la separación de las partículas por tamaño, estos están compuestos por telas de alambre, con dimensiones rigurosamente estandarizadas. La tabla 1-2 muestran los tipos de malla y el diámetro particulado obtenido por cada uno de los calibres usados en la actividad de separación y clasificación.

Tabla 1-2-: Análisis por tamizado

Mallas	Abertura del tamiz D_{pi} , mm	Fracción de masa retenida, X_i	Diámetro medio de las partículas en el incremento, D_{pi} , mm	Fracción acumulativa inferior a D_{pi}
4	4,699	0,000	—	1,0000
6	3,327	0,0251	4,013	0,9749
8	2,362	0,1250	2,845	0,8499
10	1,651	0,3207	2,007	0,5292
14	1,168	0,2570	1,409	0,2722
20	0,833	0,1590	1,001	0,1132
28	0,589	0,0538	0,711	0,0594
35	0,417	0,0210	0,503	0,0384
48	0,295	0,0102	0,356	0,0282
65	0,208	0,0077	0,252	0,0205
100	0,147	0,0058	0,178	0,0147
150	0,104	0,0041	0,126	0,0106

Mallas	Abertura del tamiz D_{pi} , mm	Fracción de masa retenida, X_i	Diámetro medio de las partículas en el incremento, D_{pi} , mm	Fracción acumulativa inferior a D_{pi}
200	0,074	0,0031	0,089	0,0075
Pan	—	0,0075	0,037	0,0000

Fuente: Tomado de [4]

1.1.5 Codificación CEMA

Es una codificación que contiene el conjunto de parámetros necesarios para lograr el correcto diseño y la selección de las maquinas encargadas para el movimiento de graneles y sus elementos, es fundamental conocer cada una de sus propiedades físicas y valores técnicos específicos, para de esta manera lograr lo resultados esperados.

1.1.6 Leyes de desintegración usadas en la molienda

Las principales teorías y leyes que rigen el proceso de molienda fueron planteadas por Rittinger, Kick, y Bond.

a. Ley de Bond

En 1950 Fred Bond de Allis Chalmers declaró la tercera teoría de trituración, donde precisa que el trabajo que se requiere para romper una roca es el que se requiere para lograr sobrepasar su deformación crítica y que empiecen a aparecer grietas a causa de la fractura, estas grietas serán producidas como consecuencia sin algún requerimiento de energía y esta acción cesa, la mayor parte del trabajo que se aplica se transforma en calor. Bond realiza un combinación de las dos leyes anteriormente postuladas y propone que el trabajo que el trabajo necesario para formular partículas de un tamaño DP a partir de una alimentación muy grande es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie a volumen del producto, S_p / V_p ($S_p / V_p = 6/\phi_s D_p$), ϕ_s es la esfericidad. Deduciendo que:

$$\frac{P}{m} = \frac{Kb}{\sqrt{Dp}} \quad (1.1)$$

Donde:

P/m: Potencia del molino

kb: Constante que depende del tipo de máquina y el material a triturar

Dp: Diámetro final de la partícula

Bond realiza una combinación de las dos teorías anteriormente planteadas (Rittinger y Kick) e incluyó una diferencia teniendo en cuenta la calidad del valor del tamaño, además del índice de trabajo para cada material a moler, debido a que la energía que se necesita para la trituración de las partículas es proporcional a la longitud de la grieta, producida previamente a la rotura de esta partícula y expresándolo matemáticamente permite deducir que es proporcional a los cinco medios del diámetro de la partícula. La teoría de Rittinger puede ser usada cuando se espera una molienda fina, la ley de Kick puede ser usada cuando se espera una molienda gruesa, y la ley de Bond, siendo una combinación entre las dos, es comprobada con el exponencial al convertirlos en medios:

$$\text{Teoría de Rittinger: } E \propto d^2 \text{ exponencial} = \frac{4}{2} \quad (1.2)$$

$$\text{Teoría de Kick: } E \propto d^3 \text{ exponencial} = \frac{6}{2} \quad (1.3)$$

$$\text{Teoría de Bond: } E \propto d^{\frac{5}{2}} \text{ exponencial} = \frac{5}{2} \quad (1.4)$$

Estas leyes tienen como objetivo realizar un modelo matemático a pequeña escala y con base en éste, realizar el diseño de las instalaciones de molienda. El inconveniente presentado es que la extrapolación a nivel de laboratorio difícil de aplicar a nivel industrial. La energía consumida en un proceso por lo general depende de la velocidad con que se mueve un molino y la potencia necesaria para su funcionamiento, la cantidad de material y la constitución de la coraza del molino, además de todas las variables presentes en el proceso, deduciéndose a partir de esto que la molienda es procesos con mayor costo de operación en los proyectos industriales y al ser instalado, sólo serán permitidos ligeros cambios en la operación, alimentación, descarga y estructura del molino. Hay que considerar que entre más grande sea la partícula su trituración es más fácil, y que en partículas más pequeñas requieren mayor cantidad de energía para su trituración [1]

1.1.7 Naturaleza de las fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño

Generalmente, se pueden distinguir tres tipos de fuerzas, de las cuales en cualquier tipo de proceso de trituración suele operar más de una. Los tipos de fuerzas predominantes en algunas de las trituradoras más usadas en la industria alimentaria son los siguientes:

Tabla 1-3: Tipos de fuerza predominantes para molienda

Fuerza	Principio	Aparato
Compresion	Compresion (cascanueces)	Rodillos trituradores
Impacto	Impacto (martillo)	Molino de martillos
Cizalla	Frotamiento (piedra de molino)	Molino de discos

Fuente: Tomado de [5]

En la tabla 1-3 se aprecian los tipos de fuerzas predominantes en la molienda, observando que cada uno obedece a un principio diferente para la trituración y los tipos de molino que aplican estas fuerzas.

Las fuerzas de compresión son usadas en los procesos de desintegración donde se requiere un producto final grueso y es usada en materiales duros. Las fuerzas de impacto tienen una aplicación mucho más amplia, ya que es usado en la molienda donde se requiere un producto final de tamaño fino, medio o gruesa, por lo tanto, es usado en el procesamiento de muchos materiales, mayormente en procesos de producción de alimentos. La fuerza de cizalla es usada mucho en la aplicación de aparatos para la desintegración de productos relativamente blandos, no abrasivos, con la finalidad de obtener piezas de tamaños muy pequeños, ideal para granos y frutos secos, donde se requiere la molienda fina.

1.1.8 Requerimiento de energía y potencia en la desintegración

El requerimiento de energía es alto en los procesos de trituración y molienda, es significa que los elementos que definen este costo son importantes. En el proceso de reducción del tamaño, las partículas de alimentación de sólidos son deformadas y tensionadas. El trabajo que se necesita para la tensión se almacena temporalmente en la partícula como energía mecánica de tensión, de igual forma en que la energía mecánica se puede almacenar en un resorte. A medida que es se aplica fuerza adicional a la partícula tensionada, esta se deforma más allá de su resistencia final y repentinamente se rompen en partes más pequeñas [4].

1.1.9 Energía potencial

Esta ocurre entre los cuerpos que interactúan por medio de la fuerza gravitacional, es decir que depende de la altura que tiene el objeto con respecto a la superficie de la tierra. Es un concepto aplicado intrínseco en métodos convencionales para la ruptura de materiales, donde el impacto de un objeto en caída libre rompe otro objeto o se rompe el mismo. Su modelo matemático va dado por la ecuación:

$$Ep = (m)(g)(h) \quad (1.5)$$

Siendo las variables masa, gravedad y altura, respectivamente.

1.1.10 Transmisión de potencia mediante ejes

Los diseños de los ejes consisten en estipular el diámetro de este para asegurar su resistencia y rigidez adecuada, cuando el eje es sometido a diferentes condiciones de carga y operación. Por lo general estos tienen sección transversal circular y pueden ser huecos o macizos. Para el diseño de ejes de materiales dúctiles, se utiliza la teoría del esfuerzo cortante máximo. Su presentación usualmente es de sección transversal circular. Los ejes hechos de materiales frágiles deben ser diseñados con base a la teoría del esfuerzo normal máximo, sometidos a torsión flexión y cargas axiales [6].

1.1.11 Par torsional

Usado para la consideración de componentes rectangulares al momento de realizar el cálculo de las dimensiones requeridas por un eje sometido a rotación. Los ejes que están acoplados a engranes buscan transmitir energía mecánica y por esto se ven sometidos tanto a fuerzas radiales como tangenciales. La ecuación para su estimación es:

$$T = 63000 (P)/n \quad (1.6)$$

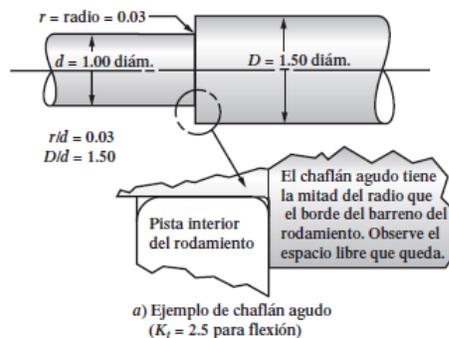
P: Potencia de transmisión

n: Velocidad de giro en RPM

1.1.12 Chaflanes

El termino chaflán hace alusión al cambio de diámetro en un eje, el cual es creado para formar un escalón con el fin de acoplar el elemento de una máquina, en ese punto se crea una concentración de esfuerzos que relaciona los diámetros y busca, este debe tener características que ayuden a minimizar la concentración de esfuerzos. En el cálculo de ejes es tenido en cuenta como un factor que varía dependiendo de su tipo, ya sea agudo o redondeado.

Figura 1-1: Chaflán agudo en ejes.



Fuente: tomado de [7]

La figura 1-1, describe el tipo de chaflán agudo, el cual añade un factor de 2,5 en la flexión.

1.1.13 Factor de diseño

Este factor hace referencia a una de seguridad relativa, de un elemento de máquina que se encuentra bajo la fuerza de una carga, que estipularía de cierta manera un coeficiente de esfuerzo permisible. Su valor depende de la naturaleza de las cargas, ya sean estáticas o dinámicas, siendo 2,0 el valor para elementos que se encuentran sometidos a cargas dinámicas.

1.1.14 Selección de dimensiones de un eje

Es muy importantes conocer las dimensiones del eje, en especial el diámetro, debido a que este sometido a fuerzas que podrían provocar fallas en su estructura, lo que se traduce a daños en el sistema o máquina. Para el cálculo de un eje se deben tener en cuenta ciertos factores, como lo son [7]:

- Velocidad de giro
- Par torsional
- Diseño de los componentes
- Ubicación de los soportes
- Geometría o forma
- Fuerzas que actúan sobre el eje

Para el cálculo del diámetro mínimo requerido de los ejes bajo cargas radiales y tangenciales se propone una ecuación que integra las cargas y los factores mencionados anteriormente:

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad (1.7)$$

Donde:

N: Factor de diseño

T: Par torsional

S_y: Esfuerzo de fluencia

K_t: Factor para chaflán

S'n: Resistencia a la fatiga modificada

M: Momento combinado

1.1.15 Acero AISI 316

Este es un acero de tipo inoxidable, muy resistente a la corrosión debido a su aleación de cromo, níquel y molibdeno, es conformado en frío y no es magnético. Es ideal para el uso en utensilios de uso alimenticio y maquinaria de procesamiento de alimentos, debido a que los alimentos contienen una naturaleza corrosiva, además de un alto nivel de acidez y salinidad, también soporta temperaturas mucho mayores a las cuales son sometidos los alimentos, sin presentar deterioro o cambio en sus propiedades. Otro acero usado en la industria alimenticia es el acero AISI 430, resistente a la corrosión, con niveles menores de níquel, lo que hace que solo sea aplicado a cierta clase de actividades o materiales. Realizando una comparación entre los dos aceros, el acero AISI 316 es el más adecuado para la industria alimenticia por su amplio uso, como lo es el procesamiento de carnes, granos, repostería, láctea, bebidas, etc.

1.1.16 Motorreductores en el mercado

Existe una gran variedad de reductores de velocidad dependiendo de su tipo de motor, a continuación, se muestran los tipos más comunes de motorreductores:

- Motores de C.A.
- Reductores de velocidad o Motores de C.D.
- Motores con frenos
- Motores con modificaciones especiales

1.2 Marco conceptual

1.2.1 Automatización

Hace referencia al manejo y la manipulación de la información para la toma de decisiones en el instante mediante el control automatizado y programado, que tienen como fin ejecutar

de forma óptima los parámetros estipulados para lograr el control del proceso a desarrollar. En este se juntan la informática y la ingeniería programando las acciones a tomar en ciertas situaciones y condiciones de operación.

1.2.2 Cadena cinemática

Es el conjunto de elementos unidos entre sí de tal manera que sea posible el movimiento relativo entre cada uno ellos, permitiendo apreciar la relación de movimiento de manera puntual y en conjunto del sistema.

1.2.3 Cade simu

Este es un software técnico que permite utilizar los diferentes elementos y símbolos eléctricos y electrónicos, clasificados de tal manera que sea posible construir esquemas eléctricos de forma sencilla y rápida para luego realizar su simulación y análisis.

1.2.4 Eficiencia

Es la cualidad capaz de medir la capacidad que tiene un sistema o un individuo de actuar y lograr una tarea específica con los resultados esperados, disponiendo de la menor cantidad y gasto posible de recursos y tiempo para dicha tarea.

1.2.5 Molino

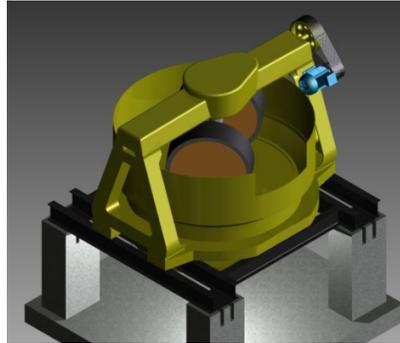
Son aquellas maquinas en las cuales realiza la operación de molienda. Existen varios tipos de estas según sus diversas aplicaciones, las más importantes son: [2].

a. De Rulos y Muelas.

Es una máquina universal aplicada para realizar simultáneamente distintas operaciones de procesamiento de la materia prima: trituración, mezcla y bañado. Estas operaciones son realizadas por medio de dos ruedas pesadas que giran dentro de un depósito cilíndrico cuyo fondo está formado por una placa perforada en la que se carga el material a trabajar.

El diseño de su estructura autoportante le permite operar con volúmenes grandes y se apoya en cuatro columnas.

Figura 1-2: Molino de rulos y muelas.



Fuente: Tomado de [7]

b. De discos

El molino de discos es ideal para realizar trituración fina de materiales en el rango medio de tamaño de partícula solidas con clasificación de blandos, duros, viscosos y sensibles a la temperatura. El material es triturado aplicando presión y cizallamiento entre discos de molienda con un dentado interno que giran en sentidos opuestos.

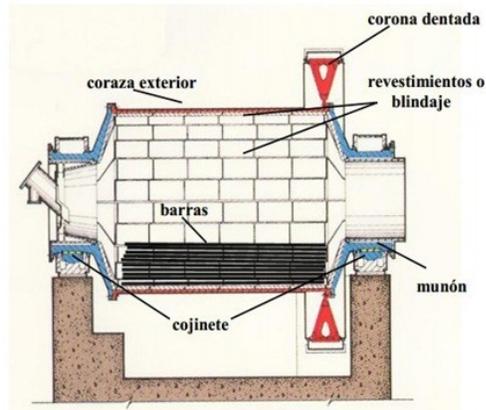
Figura 1-3: Molino de discos



Fuente: Tomado de [8]

c. De Barras.

Son equipos cilíndricos que contienen en su interior barras hechas de acero que caen sobre el material al girar el molino.

Figura 1-4 Molino de barras

Fuente: Tomado de [9]

d. De Bolas.

El molino de bolas es una máquina usada para moler y mezclar materiales con el propósito de ser utilizados en los procesos de mezclado de minerales, pinturas, cerámicas, etc.

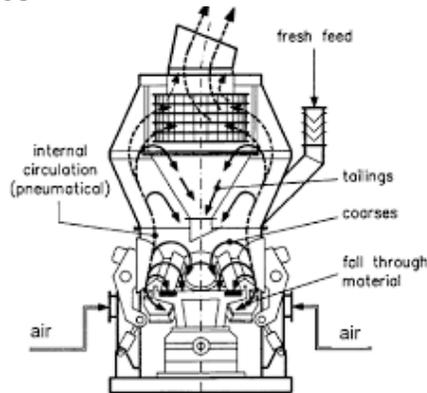
Figura 1-5: Molino de bolas

Fuente: Tomado de [10]

e. De Rodillos

Los molinos de rodillos proceden triturando y moliendo materiales entre sus rodillos. Estos comprimen el material de manera similar a la que lo haría un molino de vapor, reduciendo las partículas a pulpa y polvo.

Figura 1-6: Molino de rodillos

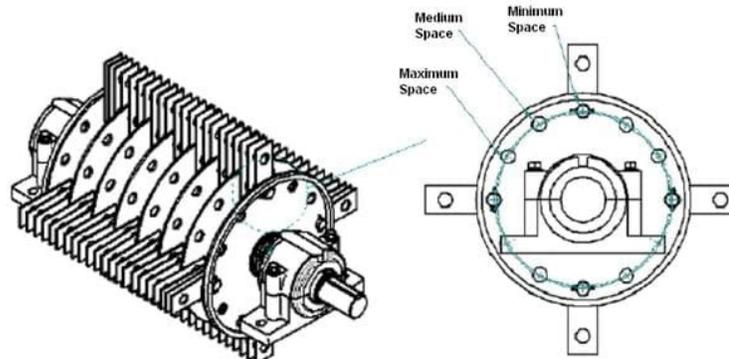


Fuente: Tomado de [11]

f. Molino de martillo

Este molino funciona ejerciendo impacto sobre el material a desintegrar. Es usado generalmente en partículas cristalinas y fibrosas como el azúcar y las especias, que se necesita. Es muy usado en el sector agroindustrial.

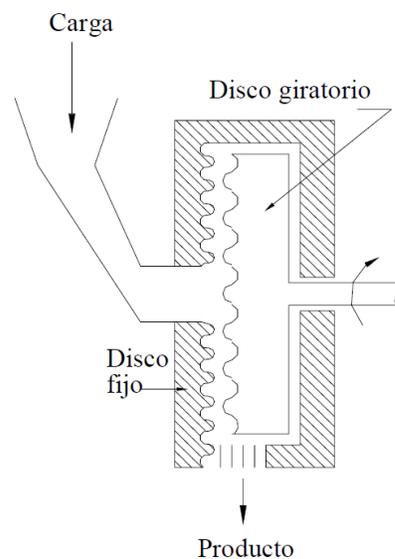
Figura 1-7: Sistema de molienda con molino a martillos engormix



Fuente: Tomado de [12]

g. Molino de disco único

En estos molinos los materiales de alimentación pasan a través del espacio que queda entre un disco estriado que gira a gran velocidad y la armadura fija del molino. La trituración del material se logra gracias a la acción cizallante. La separación entre el disco y la armadura se puede variar, según el tamaño inicial del material y las exigencias del producto requerido [5].

Figura 1-8: Molino de disco único

Fuente: Tomado de [5]

1.2.6 Rodamiento o cojinete

Son usados para soportar una carga y a la vez permitir el movimiento entre dos elementos de una máquina. Algunos de estos utilizan elementos rodantes, como bolas esféricas o rodillos cilíndricos o cónicos, con los cuales se obtiene un bajo coeficiente de fricción [13].

1.2.7 Solid Edge

Este es un software de diseño usado para modelar conjuntos, piezas y para la realización de planos. Está diseñado para sistemas operativos comunes y además puede integrarse con programas de diseño mecánico, ingeniería y fabricación de elementos de maquinaria.

1.2.8 Tamizado

El tamizado es un método utilizado para la separación y la clasificación de las partículas con respecto a su tamaño. En este proceso, las partículas se colocan sobre la superficie

del tamiz, que consta de una tela metálica con orificios que tienen medidas de diámetro específicas por las cuales solo pasaran las partículas con menor tamaño a estas.

1.2.9 Tornillo sin fin

Es un sistema transporte y manipulación de material, que puede ser usado como elemento de trasiego, dosificación y mezclador. Además, puede ser definido como una sucesión de discos de lámina con características específicas, estos deben ser cortados en forma radial y unidos con otros de tal manera que formen una especie de resorte helicoidal (figura 14), el cual estirado y acoplado a un eje. Para su montaje es necesario tener presente la dirección en que se realizara la descarga y el sentido del giro [14].

1.3 Marco histórico

Es sabido que desde los inicios de la humanidad la agricultura ha sido una de las actividades más importantes para la supervivencia del hombre, de esta se obtienen los granos, aprovechados como alimento, materiales para la fabricación de textiles, cosméticos, tintes, etc. Para la fabricación de todos los productos antes mencionados es necesario que los granos pasen por un proceso que le permitirá convertirse de materia prima a procesada y ser usada para sus diferentes fines. Con la construcción de las primeras herramientas humanas en el periodo mesolítico o edad media de piedra, le permitían al hombre triturar los granos con fines alimenticios.

Figura 1-9: Molino de mano barquiforme.



Fuente: Tomado de [15]

En la edad antigua para la molienda se utilizaron los llamados molinos de sangre, con movimientos de rotación, accionados por hombres o animales, estos permitían moler mayor cantidad de grano.

Figura 1-10: Molino de sangre.



Fuente: Tomado de [16]

En la edad media con el progreso en arquitectura y el arte, se le da lugar a una gran evolución al molino, ya que aparte de los llamados molinos de sangre se construyeron molinos de vientos e hidráulicos.

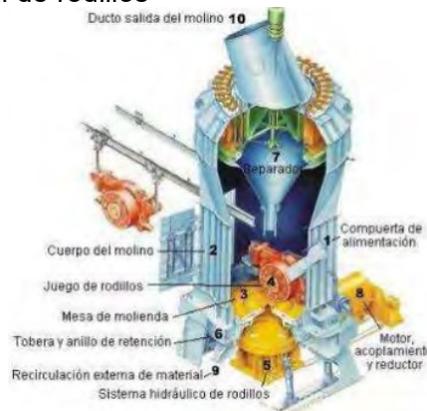
Figura 1-11: Molino de viento



Fuente: Tomado de [17]

En la edad moderna o contemporánea aún se usan molinos accionados por la fuerza humana, fabricados de diferentes tamaños y diferentes fines, pero con la evolución en el ámbito industrial, que ha permitido el descubrimiento de nuevas fuentes de energía desde la creación de las máquinas a vapor, la cual da lugar a máquinas de machaqueo primario como la maquina rompe piedras. En la actualidad se cuenta con motores de combustión interna, combustión externa, motores eléctricos, etc., que han permitido que los molinos evolucionen y que sean usados de una manera tal que el esfuerzo del hombre dentro del proceso sea menor. Se ha llegado al punto de que grandes industrias implementen molinos automatizados con gran capacidad y técnicamente desarrollados (molinos verticales, molinos de martillos, molinos de discos, entre otros).

Figura 1-12: Molino vertical de rodillos



Fuente: Tomado de [18]

1.4 Antecedentes

A continuación, se presentan varios proyectos desarrollados que tienen cierta afinidad con la propuesta planteada.

1.4.1 Antecedentes internacionales

Workalemahu, Beruk y Ashokkumar (2019) realizaron el proyecto “Rediseño y fabricación de fresadora de martillo para hacer pasta” que tuvo como objetivo rediseñar una máquina

de molino de martillos para moler, debido a la incapacidad de la fábrica existente para satisfacer la demanda de residuos de harina de pasta en el complejo alimentario Dire Dawa. Se realizó un diseño racional por dibujo y cálculos y simulación en trabajos sólidos. La eficiencia modificada de la máquina de molienda de pasta será del 90% en residuos de pastas, macarrones, galletas o panes. Por otra parte, lograr un impacto de producción a través de la minimización de desperdicios, realizando la molienda de estos subproductos de manera segura, higiénica y eficiente.

Guizado (2018) desarrolló el proyecto “Diseño y construcción de un prototipo de máquina moledora de choclo con capacidad de 25 kg/h” usando el método de diseño conceptual “Diseño y desarrollo del producto por Karl Ulrich y Eppinger”, en el que fueron identificadas las oportunidades de desarrollo y necesidades a través de los productores de choclo del distrito de Matahuasi, para después seleccionar el concepto solución “MMC 3”. De esta manera fue desarrollado el procedimiento de cálculo de todos cada elemento que compone la máquina, teniendo en cuenta el libro “Diseño de elementos de máquina por Robert L. Mott” y la selección de sus elementos mecánicos por medio de catálogos del mercado nacional. Este prototipo de máquina moledora de choclo cuenta con una capacidad aproximada de 25 kg/h, es impulsado por un motor eléctrico y sus dimensiones geométricas son 530 mm de largo y 987 mm de altura. Además, cuenta con discos en la cámara de molienda de 160 mm de diámetro.

Curtis, Steese y Delgado. (2017) describen el proceso en el cual el equipo del Proyecto Senior de Maize Mill creó el diseño y prototipo de Maize Mill. El informe está escrito de manera que el lector verá los pasos dados para completar el proyecto principal. Se incluye la investigación de antecedentes realizada en diferentes tipos de fábricas, las sesiones de ideación, la selección de diseño, las técnicas de análisis, los cálculos de diseño, los dibujos, la fabricación de prototipos y las pruebas. Las pruebas del prototipo terminado indicaron que el diseño debe ser alterado para que el Molino de Maíz funcione bajo las especificaciones deseadas. Esta iteración de diseño será llevada a cabo por la organización de Ingenieros sin Fronteras de Cal Poly o futuros grupos de proyectos de alto nivel.

Molla (2015) realizó el proyecto Design of corn, wheat, millet and maize mill machine, cuyo objetivo fue diseñar un molino eléctrico de granos usando una placa de metal. Esta máquina es capaz de reducir el costo de capital total, aumentar la flexibilidad, ser fácilmente portátil y reducir el tamaño. Este molino funciona con poleas, correa, eje, placa de metal, etc. La potencia que proviene del motor es transmitida a través de la correa. La finalidad del proyecto es ayudar a la gente de Etiopía aplicando el conocimiento mecánico y utilizando material apropiado con un menor costo de fabricación, obteniendo un molino de grano con bajo costo de fabricación y peso ligero. Esta máquina tiene alta capacidad de producción, baja vibración y fácil de mover.

Nwogu, e Ikebudu (2015) llevaron a cabo el proyecto “Diseño mejorado de una fresadora de harina”. Se trata de una máquina utilizada para la molienda de harina (masa) en mayor grado para la producción de alimentos sin producir daños a los nutrientes. En la elaboración del diseño se espera el uso de tecnología indígena como base y que se logre aumentar la eficiencia, minimizar costos y maximizar ganancias. La máquina fue diseñada para usar el eje de transmisión principal como medio de velocidad y potencia. Por otra parte, es una máquina con bajo costo de mantenimiento.

Bermeo (2014) realizó el trabajo de investigación titulado “Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas”, el proyecto consiste en el diseño y construcción de un molino de tipo martillos, que tenga una capacidad aproximada de 10 quintales por hora, con la finalidad de triturar granos como: maíz duro (morochillo), trigo, soya, etc., para la alimentación de pollos camperos. Para el diseño de los elementos mecánicos que forman parte del molino de martillos se determinaron las fuerzas a las que se encuentran sometidos. De acuerdo al principio de funcionamiento de molinos de martillos, la principal fuerza presente en el sistema es la fuerza centrífuga. Así los principales elementos que componen un sistema de molinos de martillos son: sistema de trituración, tolvas de alimentación y descarga, bastidor, sistema de transmisión de potencia, y sistema eléctrico.

1.4.2 Antecedentes nacionales

A nivel nacional también se encuentran algunos proyectos asociados a esta temática:

Bastidas y Guerra (2019) realizaron el diseño y la construcción de un prototipo de máquina secadora y pulverizadora para transformar la de hoja de coca en harina natural en la comunidad indígena Inkal Awa Unipa en el departamento de Nariño. La ejecución del presente trabajo está enfocada principalmente en la transformación de la hoja de coca en harina Natural con la finalidad de crear una alternativa tecnológica de uso lícito para la obtención de harina que desestigmatice el pensamiento sobre el uso de esta planta generando nuevos campos y puertas de comercio legal en la comunidad indígena Awa Unipa.

Dueñas y González (2018) realizaron el diseño y la construcción de un molino de bolas pulverizar arcillas en el laboratorio de materiales y catálisis de la Universidad de Córdoba, con el fin de brindar a este laboratorio, una solución efectiva y rápida al proceso de pulverización manual de arcilla seca que se efectúan, con el fin de ser usada en la realización de prácticas de caracterización. Construyendo este dispositivo fue posible minimizar el tiempo de producción de arcilla pulverizada en un 98.5% con respecto al proceso manual que ya era empleado en el laboratorio, además de esto se duplicó la cantidad de material procesado, y de esta manera se aumentó la realización de prácticas de caracterización, logrando obtener 15 ensayos más de lo habitual, llegando a hasta un total de 20 ensayos por periodo académico. Este proyecto fue desarrollado logrando el cumplimiento de los objetivos planteados, realizando una contribución a esta comunidad e incentivando la investigación en el campo de la arcilla.

Clavijo y Cardona (2014) realizaron el diseño de un molino de martillos para la producción de pegamento cerámico para la empresa Ragraquímicos. En este proyecto se formula la necesidad de diseñar un equipo que contribuya con el mejoramiento del producto, la cual requiere un proceso específico de reducción de tamaño, que para este caso en particular se dará por impacto. es por ello que fue planteado solución el diseño de un molino de martillos cada uno de los parámetros requeridos por la empresa, dando lugar a la producción del pegamento y así el producto sea más competitivo a nivel local y departamental.

Uribe y Lozano (2014) realizaron el proyecto titulado “Desarrollo, construcción y pruebas de funcionamiento de un prototipo de molino de martillos para la trituración en estado seco de cáscara de cacao y similares”. Es un proyecto integrado a la línea de investigación del Laboratorio de Automatización y Control de Procesos Agroindustriales, presenta el dimensionamiento y construcción de un prototipo de molino de martillos con una capacidad de producción de hasta 300kg/día, encargado de la molturación de cáscara de cacao y subproductos agrícolas similares que son secados en el laboratorio. A su vez se realizan pruebas de funcionamiento donde se evalúan diferentes opciones de ingreso a la tolva del subproducto a molturar. El prototipo que se desarrolla es de tipo modular con dos etapas, lo cual permite trabajar con una sola etapa o con las dos de manera secuencial, siendo un gran diferenciador de los molinos de martillos comunes.

1.5 Marco Legal

Para la realización del proyecto se tomaron en cuenta las siguientes normatividades y artículos de la Constitución política de Colombia.

De los derechos sociales, económicos y culturales

Artículo 65. La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras. De igual manera, el Estado promoverá la investigación y la transferencia de tecnología para la producción de alimentos y materias primas de origen agropecuario, con el propósito de incrementar la productividad.

Artículo 69. Se garantiza la autonomía universitaria. Las universidades podrán darse sus directivas y regirse por sus propios estatutos, de acuerdo con la ley. La ley establecerá un régimen especial para las universidades del Estado. El Estado fortalecerá la investigación científica en las universidades oficiales y privadas y ofrecerá las condiciones especiales para su desarrollo. El Estado facilitará mecanismos financieros que hagan posible el acceso de todas las personas aptas a la educación superior.

Artículo 71. La búsqueda del conocimiento y la expresión artística son libres. Los planes de desarrollo económico y social incluirán el fomento a las ciencias y, en general, a la cultura. El Estado creará incentivos para personas e instituciones que desarrollen y fomenten la ciencia y la tecnología y las demás manifestaciones culturales y ofrecerá estímulos especiales a personas e instituciones que ejerzan estas actividades.

Artículo 74. Todas las personas tienen derecho a acceder a los documentos públicos salvo los casos que establezca la ley. El secreto profesional es inviolable.

De los derechos colectivos y del ambiente

Artículo 78. La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización. Serán responsables, de acuerdo con la ley, quienes en la producción y en la comercialización de bienes y servicios, atenten contra la salud, la seguridad y el adecuado aprovisionamiento a consumidores y usuarios. El Estado garantizará la participación de las organizaciones de consumidores y usuarios en el estudio de las disposiciones que les conciernen. Para gozar de este derecho las organizaciones deben ser representativas y observar procedimientos democráticos internos.

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

2. Diseño Metodológico

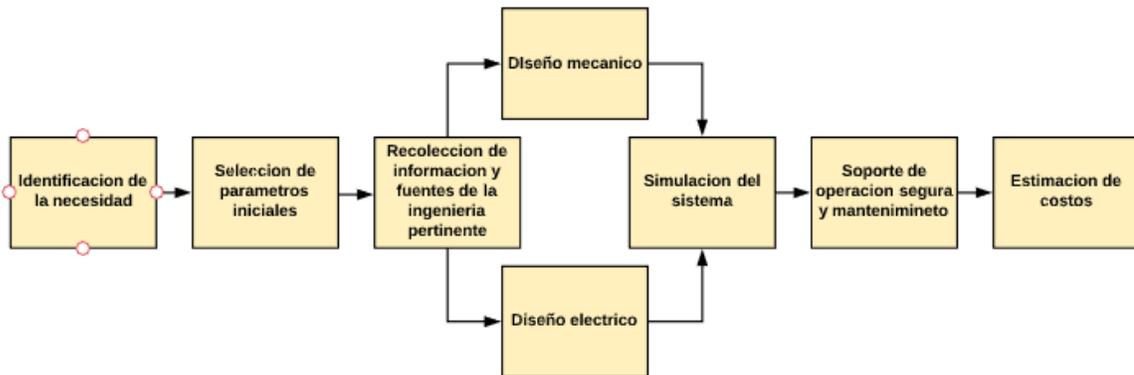
2.1 Metodología del proyecto

El tipo de investigación utilizada en este proyecto es de tipo cuantitativa en la que se realiza un desarrollo tecnológico. La investigación cuantitativa es aquella en la que se recopilan y analizan datos obtenidos a partir de variables, estudiando la relación que existe entre estas y los resultados esperados, mediante la medición controlada orientando todos los parámetros al resultado y usando datos repetibles que permitan obtener una interpretación objetiva y clara de estos. [19]

La realización de este proyecto es posible mediante la recopilación de mediciones en tablas con los valores de cada uno de los elementos propuestos para la molienda, que cumplen con las características de un grano seco, además de la consulta de sus propiedades con base a estudios experimentales realizados por personas dedicadas al análisis ingenieril de esta actividad. Las mediciones y propiedades tomadas son aplicadas a los procesos de selección y cálculos de los elementos del molino como variables, para así obtener un resultado que permita asegurar su funcionamiento para el procesamiento de todos los materiales que entren en la clasificación de grano seco o tengan características similares.

2.2 Metodología para el diseño electromecánico

Figura 2-1: Metodología del proyecto



Fuente: Elaboración propia

El proyecto realizado se propone como la solución de una problemática latente en Colombia, que es la falta de apoyo y aplicación de tecnología a los procesos agrícolas, específicamente en la industria de procesamiento de granos secos. Esta necesidad fue identificada con base a la documentación y reportes realizados por los entes encargados como el Plan Estratégico del Programa Nacional de desarrollo tecnológico Industrial y Calidad DNP, y el Ministerio de agricultura y desarrollo rural nación, donde se reportan el estado actual del sector agrícola, la producción y aprovechamiento del territorio nacional para la cosecha, la participación e importancia de los sectores e industrias agrícolas, el nivel de desarrollo tecnológico y la tecnificación de los procesos agrícolas. Se evidencia que gran parte de la actividad agrícola y rural se realiza de manera informal, lo que causa que el avance del sector sea mucho más lento. Se escogen los parámetros iniciales teniendo en cuenta las necesidades, que básicamente son, una capacidad de producción relativamente alta con respecto a los procesos tradicionales, bajo implementación de fuerzas humana, diseño compacto con dimensiones pequeñas y de fácil movilidad, sencillez en el sistema, bajo costo e indicaciones de operación segura, ya que es destinado a usuarios de pequeñas y medianas empresas.

Los datos necesarios para el diseño de la maquina son obtenidos mediante la consulta de fuentes con información pertinente al tema de la molienda de granos secos, el

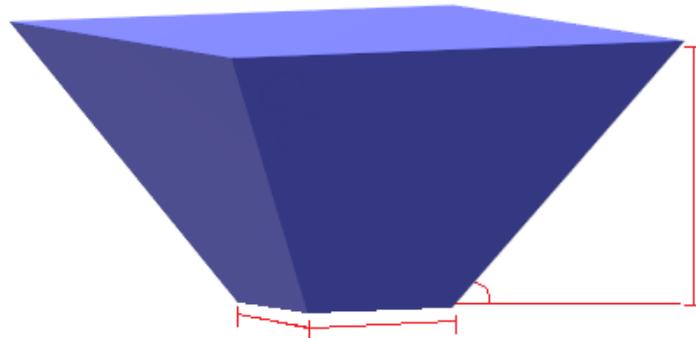
funcionamiento de los molinos usados para esta actividad en las pequeñas y medianas empresas, el cálculo y la selección de los elementos que los componen, las condiciones de funcionamiento a las que está sometido teniendo en cuenta que cumpla con el parámetros iniciales y la automatización del proceso mediante elementos electromecánicos que mejoren sus características. Los datos obtenidos se integran en la simulación para comprobar que son los adecuados para su uso en condiciones de trabajo a toda capacidad y que cumplen con los objetivos trazados.

El diseño mecánico se realiza utilizando leyes y modelos matemáticas con la teoría aplicable al diseño de elementos de máquinas, primeramente, identificando el modelo de la cadena cinemática para conocer el orden del proceso realizado por la máquina, cada uno de los elementos importantes y su interacción con los demás. Una vez identificadas las piezas más importantes en el proceso se procede a realizar cada uno de los cálculos, teniendo en cuenta los parámetros requeridos, utilizando un material capaz de soportar las condiciones agresivas que los alimentos proporcionan, eligiendo el acero AISI 316 por sus excelentes propiedades contra la corrosión, además de que no genera ningún tipo de residuo que contamine los alimentos procesados. Los elementos calculados deben brindar resultados aplicables a la máquina, que en conjunto se ensamblen y funcionen siendo capaces de mantenerse en condiciones máximas de operación sin sufrir daños. El diseño debe cumplir con el parámetro funcional de una capacidad de trabajo de 300 kg/h.

Es sistema mecánico está compuesto por elementos que transforma el movimiento en energía, hecho de material sólido y robusto ya nombrad, que permita el trabajo bajo la acción de fuerzas y pueda ser integrado con el sistema eléctrico para ocasionar el movimiento de estos. Además, debe constar de dos motorreductores de alta capacidad que sean capaces de generar la potencia necesaria para la el transporte y la molienda de los granos secos, acoplados directamente a su respectivo tornillo de transporte. Los cálculos son realizados con referencia al maíz, debido a que presenta un requerimiento mayor de energía para su desintegración, por consecuente se escoge un molino de disco único, que realizara el proceso de molienda por cizalla, siendo adecuado para los granos secos. Es requerido además un sistema de contención de producto, que permita que el material a moler sea dirigido a los tornillos de transporte mediante un diseño de paredes inclinadas donde no se retenga el grano, del cual se realiza el cálculo de sus dimensiones

y se indica su capacidad, asegurándose de que el usuario pueda vaciar una alta cantidad de granos y conservando a la vez la condición del tamaño reducido para su instalación y movimiento, tal como se observa en la figura 2-2.

Figura 2-2: Forma de tolva propuesta.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se realiza el diseño eléctrico, que permite la automatización del proceso, el cual es el que apunta a la necesidad requerida de usar la menor fuerza humana posible. Esto se cumple empleando sistemas de circuitos que interacciones entre sí, cumpliendo funciones de marcha y cese de actividad, además de contener sensores de nivel acoplados a las tolvas que cumplen a función de proteger que la maquina no funcione en vacío, realizando acciones de arranque o cese del proceso con base a la presencia de material, permitiendo así que se prolongue la vida útil de esta. El molino es adaptado con un sistema de protección y transmisión de energía eléctrica que permita mantener el sistema eléctrico en funcionamiento y perdure. La metodología usada para este proceso en particular consta de elegir el sistema eléctrico adecuado de control y fuerza, integrando todos los elementos que permitan cumplir con el objetivo.

La simulación realizada del conjunto de los elementos mecánicos se realiza en un software CAD, que permite verificar el cumplimiento de la cadena cinemática, llevando a cabo el proceso de molienda y la armonía entre sus dimensiones. Así mismo se realiza la simulación eléctrica del sistema automatizado en software CAD que permite elegir los elementos necesarios para el proceso, representándolo en un diagrama que permite

verificar paso a paso el funcionamiento de los sensores de nivel, programándose con PLC y dándole los comandos necesarios para obtener los resultados esperados.

Debido a que el prototipo de este proyecto es desarrollado con un alcance para pequeñas y medianas empresas dedicadas a la molienda de granos secos sea cual sea su finalidad, los usuarios contarán con la documentación que le permita conservar la seguridad propia y la seguridad de la máquina, con el objeto de evitar lesiones o enfermedades laborales y reducir las probabilidades de daño de la máquina. Sin duda alguna es necesario realizar mantenimiento al molino, por esta razón se brinda un formato que contiene la guía de mantenimiento general de la máquina, con la periodicidad de las actividades a realizar para conservar el buen funcionamiento de esta.

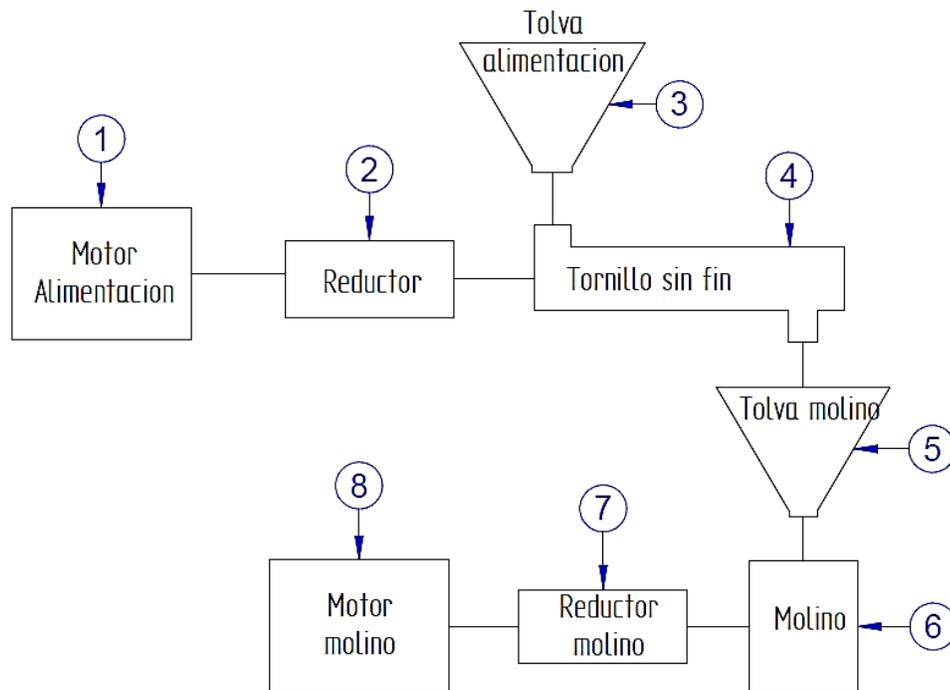
Finalmente al conocer cada uno de los elementos que componen al molino y sus características, se realiza la proposición de estos elementos que se encuentran en un rango amplio de opciones y variedad de modelos, de los cuales se eligen y se proponen componentes de alta calidad, que permitirán que el desempeño de la máquina sea óptimo y brindando un precio relativamente, dando la libertad al usuario o a la persona que aplique este diseño, de elegir la calidad que necesite o se amolde, cabe aclarar que utilizando equipos de calidad media-alta o media, los valores de los costos disminuirán considerablemente, cumpliéndose así con la necesidad de brindar un prototipo que sea asequible, teniendo en cuenta la población a la cual va dirigido.

3. Diseño Ingenieril

3.1 Selección de cadena cinemática

La cadena cinemática del molino con transmisión interna brinda una idea de la composición de la máquina, destacando los elementos que intervienen en la transmisión y/o transformación del movimiento en cada una de las fases del proceso de molienda automatizada. Estos elementos se encuentran en un orden específico donde se aprecia la dinámica de las partes reguladoras y de accionamiento que intervienen en el proceso, las cuales posteriormente serán calculadas para conocer sus parámetros de diseño y simulados con los datos obtenidos para conocer su comportamiento durante el funcionamiento.

Figura 3-13: Cadena cinemática del molino con transmisión interna



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Requerimiento de energía para la desintegración del grano

Se determina como parámetro principal para el diseño y la selección de los elementos una capacidad de molienda para el molino de discos de 0,3 t/h (300 Kg/h).

Tomando como referencia el grano que tiene propiedades físicas mayores, en cuanto al tamaño y la fuerza necesaria para su ruptura con base en un método experimental, consiste dejar caer desde varias alturas un objeto cualquiera con un peso específico sobre el grano, buscando de cierta forma que llegue a romper el grano. De esta manera se obtiene que la energía necesaria para la ruptura es (ver ecuación (1.5)):

Donde:

m_0 : Masa del objeto con peso determinado =250 g (0,25 Kg)

g : Gravedad=9,8 m/s²

h: Altura de suspensión del objeto en metros (Se va graduando hasta que se rompa el grano)

Con lo que determinamos que los valores de energía de ruptura necesaria para cada grano propuesto son:

$$E_{ruptura\ Maiz} = (0,25) (9,8) (0,27)$$

$$E_{ruptura\ Maiz} = 0,66\ Nm$$

$$E_{ruptura\ Cebada} = (0,25) (9,8) (0,16)$$

$$E_{ruptura\ Cebada} = 0,39\ Nm$$

$$E_{ruptura\ Trigo} = (0,25) (9,8) (0,18)$$

$$E_{ruptura\ Trigo} = 0,44\ Nm$$

$$E_{ruptura\ Cafe} = (0,25) (9,8) (0,22)$$

$$E_{ruptura\ Cafe} = 0,53\ Nm$$

Para la determinación del diámetro inicial del producto se toma como referencia cuatro granos secos usados comúnmente en la molienda, se realiza la medida de su diámetro 15 veces y se promedia, como se observa en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Diámetros granos propuestos

Maíz	Diámetro grano (mm)	Cebada	Diámetro grano (mm)	Trigo	Diámetro grano (mm)	Café	Diámetro grano (mm)
1	5,22	1	1,24	1	2,24	1	4,26
2	5,44	2	1,66	2	2,66	2	2,34
3	4,98	3	2,06	3	2,04	3	5,02
4	5,26	4	1,46	4	2,34	4	4,02
5	4,78	5	1,32	5	2,64	5	5,26
6	5,88	6	1,18	6	2,44	6	4,22
7	5,12	7	1,44	7	2,12	7	4,44
8	4,84	8	1,36	8	2,64	8	4,32
9	5,64	9	1,18	9	2,38	9	4,28
10	5,56	10	1,16	10	2,22	10	4,38

Maíz	Diámetro grano (mm)	Cebada	Diámetro grano (mm)	Trigo	Diámetro grano (mm)	Café	Diámetro grano (mm)
11	5,38	11	1,44	11	2,28	11	4,26
12	4,88	12	1,66	12	2,46	12	4,12
13	5,22	13	1,12	13	2,44	13	4,32
14	5,32	14	1,06	14	2,56	14	4,28
15	5,72	15	1,04	15	2,24	15	4,14
Promedio	5,28	Promedio	1,36	Promedio	2,38	Promedio	4,24

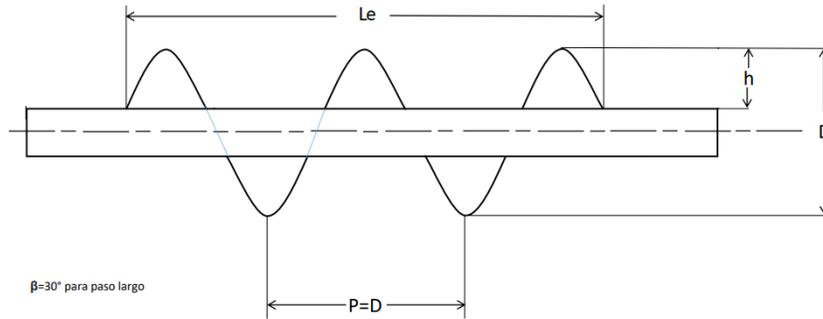
Fuente: Elaboración propia

De estas medidas se puede deducir que el grano que ofrecería mayor resistencia a la trituración sería el maíz, con un diámetro promedio de 5,28 mm y una energía de ruptura de 0,66 Nm.

3.3 Cálculo de potencia requerida por el tornillo de alimentación y selección de sus dimensiones.

La figura 3-2 muestra el esquema de un tornillo sin fin, en esta figura son descritas las dimensiones principales del rotor del tornillo transportador. Se denomina D al diámetro exterior, p al paso o avance por vuelta, h a la altura de la hélice, Le a la longitud efectiva de rosca y L a la longitud total, incluyendo la longitud de los apoyos. Esto es necesario tener en cuenta para calcular las dimensiones y todas las características del sistema utilizado en el transporte del grano [14].

Figura 3-2: Esquema tornillo sin fin



Fuente: Elaboración propia

Para el diseño del tornillo se debe tener en cuenta el material transportado, que según lo planteado anteriormente será el maíz. De acuerdo a la clasificación CEMA y teniendo en cuenta de que el maíz tiene características muy similares al del arroz duro, es clasificado como C1/2-35N (Anexo C-2), interpretándose este código de la siguiente manera (Anexo C-1):

- C1/2: Tamaño del grano que entra en un tamiz de malla 6, de máximo $\frac{1}{2}$ pulgada, considerado como granular.
- 3: Flujabilidad media
- 5: Medianamente abrasivo
- N: Adhesivo

Otras características son:

- Factor del material (F_m)=0.6
- Coeficiente de llenado=30 A (Anexo C-2)
- Máximo tamaño de grano= $\frac{1}{2}$ pulgada Clase III (Anexo 26)

Capacidad requerida= 0,3 t/h

Trayectoria: Horizontal

3.3.1 Determinación del tipo, tamaño y velocidad

En esta máquina el tornillo sin fin de la tolva tiene la función de extraer y transportar el material depositado en la tolva, conduciéndolo hacia la tolva receptor. Se caracteriza por tener menor paso en la zona de carga y algunas veces un mayor diámetro con el fin de

alcanzar que el nivel del material en la tolva disminuya en el sentido de la marcha, obteniéndose de esta manera un adecuado coeficiente de llenado [20].

Basándose en el mismo principio, pero en sentido contrario se consigue llevar el grano hasta la zona de descarga que mantiene el arrastre continuo del material durante el funcionamiento de la máquina, siempre y cuando el material sea detectado por el sensor de nivel. El cálculo de este tornillo se realiza tomando como referencia la conferencia nombrada “Selección, diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de transporte al granel” módulo II: Tornillos de transporte, dictada en la Universidad del Norte [21], citado en “Diseño, construcción y montaje de un molino de discos por fricción para sales” [22]

3.3.2 Especificaciones del tornillo

- Tornillo de paso variable, con una combinación de paso estándar y paso recortado.
- Helicoide discontinuo, con hélice recortada para lograr alcanzar elevadas revoluciones en el tornillo
-

Tamaño y velocidad

Variables a usar:

CF1: Factor relativo al paso del tornillo (Anexo C-3)

CF2: Factor relativo al tipo de hélice (Anexo C-4)

CF3: Factor relativo al tipo de paletas

CF4: Factor relativo a inclinación

CE: Capacidad equivalente

Capacidad/rev: Capacidad por revolución en ft^3/h (Anexo C-5)

N: Revoluciones por minuto

Ahora bien:

$$CE = CF1 \times CF2 \times CF3 \times CF4 \times C \quad (3.1)$$

$$N = \frac{CE}{\text{Capacidad/rev}} \quad (3.2)$$

Datos respectivos:

$$CF1 = 1,5$$

$$CF2 = 1,57$$

$$C = 0,3 \text{ t/h}$$

$$CF3 \text{ Y } CF4 = 1,0 \text{ (No aplican)}$$

Reemplazando obtenemos

$$CE = 0,3 \text{ t/h} \times 1,5 \times 1,57$$

$$CE = 0,7065 \text{ t/h}$$

El cálculo de las revoluciones se desarrolla contemplando que el maíz posee un coeficiente de llenado de 30% (30 A). Usando este dato y usando el Anexo C-5 se obtiene la capacidad por revolución del tornillo. En el Anexo 26 se encuentra que el diámetro apropiado para el tornillo debe ser de 6 pulgadas para materiales clase III con tamaño máximo de $\frac{1}{2}$ pulgada, seleccionando una altura de hélice de $\frac{3}{4}$ de pulgada que supera el tamaño máximo de grano y logra transportarlo. Se determina que la longitud del tornillo es de 16 pulgadas, teniendo en cuenta el espacio que se dispone y resaltando que no es necesario el uso de soporte intermedio para esta longitud.

En el Anexo C-5 se puede observar la capacidad por revoluciones, esta es igual a $1,49 \text{ ft}^3/\text{h}$.

Reemplazamos

$$N = \frac{24,94 \text{ ft}^3/\text{h}}{1,49 \text{ ft}^3/\text{h}}$$

(ver Ecuación (2.2))

$$N = 16,73 \text{ RPM}$$

Las especificaciones para la construcción del tornillo son:

Diámetro= 6 pulgadas

Helicoidal

Longitud= 16 pulgadas

Altura= $\frac{3}{4}$ pulgadas

Tabla 3-2: Dimensiones resumidas tornillo sin fin tolva de alimentación

Le	RPM	D	P	d	h
406.4 mm	16.73	152.4 mm	152.4 mm	114.3 mm	19.05 mm

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3-2 se realiza un resumen de las dimensiones en milímetros, seleccionadas para el tornillo sin fin de la tolva de alimentación con base a los parámetros requeridos y las tablas de características del grano propuesto.

3.3.3 Potencia requerida por el tornillo de transporte

La potencia necesaria para el accionamiento del tornillo sin fin de transporte en condiciones de carga, tomando como referencia el maíz, es calculada teniendo en cuenta factores propios del material y realizando la identificación de cada uno de estos en las tablas presentadas en los anexos.

$$H_{pf} = \frac{L \times N \times F_b \times F_d}{100000} \quad (3.3)$$

$$H_{pm} = \frac{C \times L \times W \times F_f \times F_m \times F_p}{100000} \quad (3.4)$$

$$H_{pt} = \frac{(H_{pf} + H_{pm}) F_o}{e} \quad (3.5)$$

Donde

F_m: Factor material (Anexo C-2) = 0,6

L: Longitud (ft)= 1,33 ft

N: RPM= 16,73

F_d: Factor de tamaño (Anexo C-7) = 18,0

F_b: Factor de soporte intermedio= 1,0 (No es necesario)

C: Capacidad (ft)= 27,3 ft³/h

W: Peso del material= 83,67 Lb/ft³

F_f: Factor de hélice (Anexo C-8) = 1,15

F_p: Factor de paletas= 1,0 (No aplica paletas)

F_o: Factor de sobrecarga

e: Eficiencia (Anexo C-9) = 0,88

H_{pf}: Potencia requerida para trabajo vacío y funcionamiento

H_{pt}: Potencia total

Reemplazando (ver Ecuación (2.3) (2.4) (2.5))

$$H_{pf} = \frac{(1,33 \text{ ft})(16,73 \text{ RPM})(1,0)(18,0)}{100000}$$

$$H_{pf} = 0,0040 \text{ Hp}$$

$$H_{pm} = \frac{\left(27,3 \frac{ft^3}{h}\right) (11,33 ft) (83,67) (1,15) (0,6) (1,15)}{100000}$$

$$H_{pm} = 0,024 \text{ Hp}$$

$$\text{Para calcular } F_o \text{ se obtiene con la suma } H_{pf} + H_{pm} = 0,028 \quad (3.6)$$

Entonces la potencia total requerida por el tornillo sin fin de transporte es igual a:

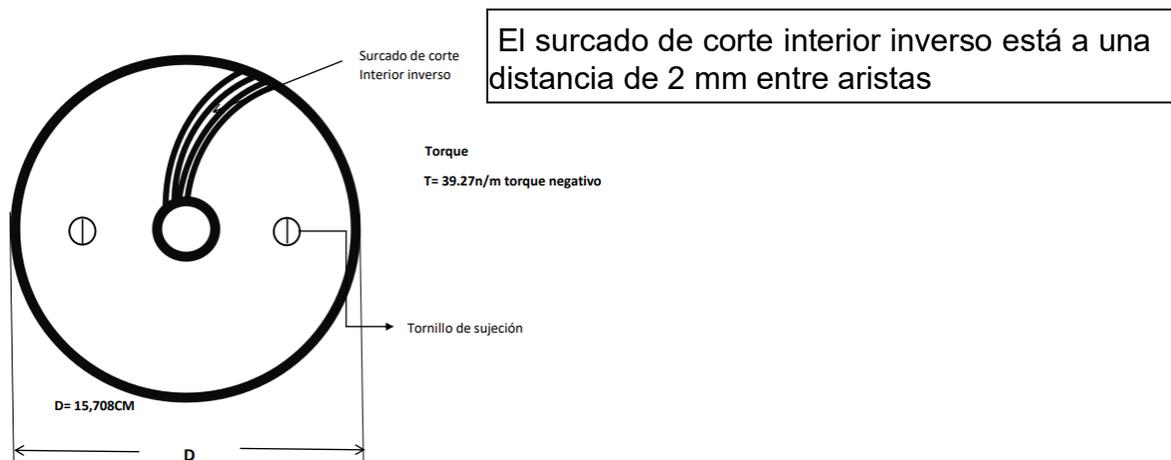
$$H_{pt} = \frac{0,028}{0,88} = 0,0318 \text{ Hp} \quad (3.7)$$

3.4 Cálculos para los discos de molienda

Para los molinos de discos los elementos a moler son aprisionados entre dos discos, uno móvil y el otro fijo, estos contienen un estriamiento que, mediante la frotación de estos sin contacto directo entre ellos, permiten que el material sea desintegrado. En el caso de este proyecto, el grano entra entre los discos y es descargado por la periferia. Los discos son ajustados por el operario para lograr el tamaño de producto final preferido requerido, con un límite o tope que no permite que estos tengan contacto entre ellos, tal como los molinos de disco tradicionales.

3.4.1 Disco de molienda fijo cara interior

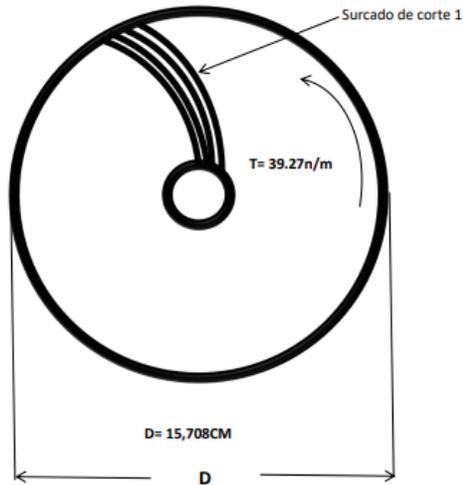
Figura 3-3: Disco de fricción fijo cara interior



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Disco de molienda móvil cara interior

Figura 3-4: Disco de fricción móvil, cara interior



El surcado de corte está a una distancia de 2 mm entre aristas

TORQUE es equivalente a la fuerza impresa en el freno $t = F.r. \cos 90^\circ$

Fuente: Elaboración propia

$$D = 5KG \times 3,1416$$

$$T = F.r. \sin 0$$

$$D = 15,708 \text{ cm}$$

Velocidad de corte 16,73 RPM para 5kg/min

Torque es equivalente a la fuerza impresa en el freno

$$T = F.r. \cos 90^\circ \tag{3.8}$$

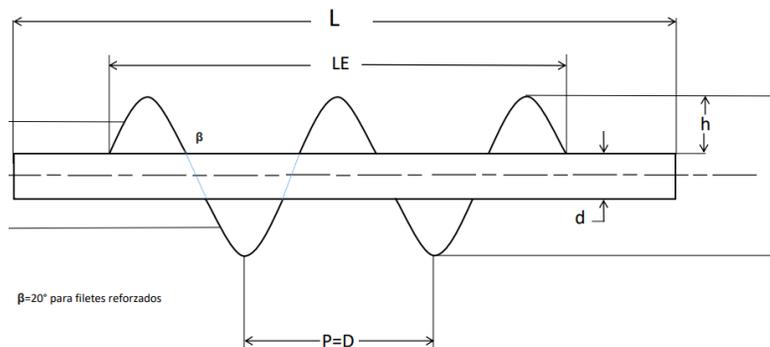
$T = 5kg. 7,854$ $T = 39,27 \text{ N/m}$ positivo para el disco móvil.

El tamaño requerido del grano puede ser graduado con la plancha cabezal del molino, la cual es ajustable y permite cambiar la proximidad entre los discos, lo cual daría lugar a obtener partículas molidas más finas o más grandes, dependiendo de la necesidad del usuario.

3.5 Calculo del eje del molino

Debido a la tensión generada en los discos de fricción de este tipo de tornillo sin fin para la pulverización de granos secos se debe utilizar acero AISI 316 para evitar rupturas en el eje del tornillo o la fatiga por esfuerzo del material. Este acero es utilizado en maquinaria por sus propiedades mecánicas y su alta inmunidad a la corrosión y a sustancias acidas y soldas, lo que lo hace ideal para la construcción de máquinas de procesamiento de alimentos.

Figura 3-3: Esquema 2 de tornillo sin fin



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-5 se representan las dimensiones del tornillo sin fin del molino a calcular y seleccionar, basándose en el cálculo del eje del molino como parámetro inicial.

Para la realización del cálculo del eje del molino se tiene en cuenta el procedimiento descrito en el libro de diseño de elementos de máquinas [13].

Para el acero AISI 316 las propiedades son (Anexo F-4)

Resistencia a la tensión= 80 Ksi

Resistencia a la fluencia= 30 Ksi

% Elongación= 60%

Valor de resistencia a la fatiga= 30 Ksi (Estimado mediante el anexo F-1)

Es necesario aplicar un factor de tamaño a la resistencia de fatiga debido a que si no se tiene en cuenta el eje será muy grande para transmitir 0,75 HP que se tiene como valor de referencia para un motorreductor comercial. Aunque no se conoce el tamaño real se puede estimar $C_s = 0,75$ con base al anexo F-2 realizando una aproximación del factor por tamaño.

Además, se debe estipular un valor de confiabilidad con base al anexo F-3, que para este proyecto será tomado como 0,99, por lo cual $C_R=0,81$ (CR: Confiabilidad deseada).

La resistencia a la fatiga modificada (ver Ecuación (2.9)) será:

$$S'_n = S_n \cdot C_s \cdot C_R \quad (3.9)$$

$$S'_n = (30000) (0,75) (0,81) = 18225 \text{ psi}$$

Se elige un factor de diseño $N=2$, debido a que no se espera que el eje este sometido a impactos inusuales.

Se calcula el par torsional del eje mediante (ver Ecuación (1.6)):

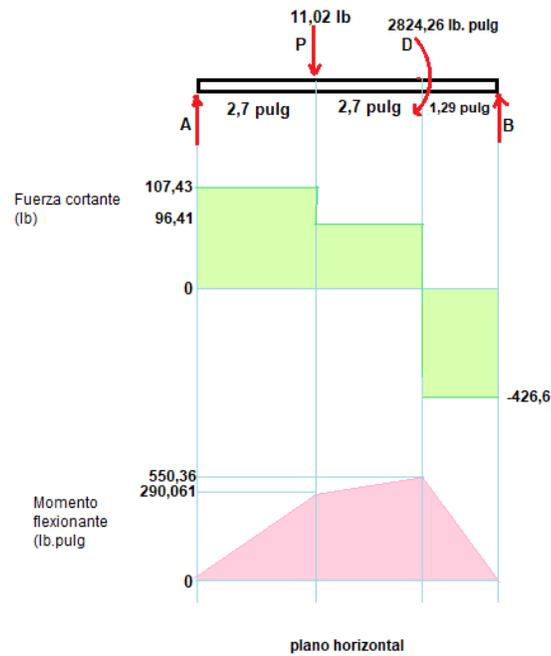
Entonces

$$T = 63000(0,75 \text{ HP}) / 16,73 = 2824,26 \text{ libras. Pulg}$$

En los puntos A y B existe par torsional de valor cero. El punto P se toma como referencia por recibir la carga del material y el punto D se tiene en cuenta el disco del molino que aplica un par torsional. Es necesario indicar las fuerzas sobre el eje y calcular las reacciones, teniendo en cuenta las cargas y los apoyos. Cabe aclarar que donde va apoyado el eje, es decir, después del disco de molienda no existe par torsional.

La figura 3-6 muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante sobre el eje del tornillo sin fin del molino. Se tiene en cuenta que el grano caerá sobre este, tomando como referencia el centro donde se aplicaría la carga a la que está sometida debido al producto en la tolva receptora, además de que en su extremo tiene acoplado el disco de molienda fijo. Para la realización de los diagramas es necesario aplicar la sumatoria de fuerzas y momentos, lo que permitirá obtener valores resultantes del momento flexionante en los planos horizontales y verticales. Se calculan las reacciones en los soportes y en el eje debido a la columna de material sobre el eje del tornillo, que es pequeña por venir de la tolva receptora, la cual tiene una capacidad aproximada de 5 Kg (11,02 lbf) de material y el par torsional que ejerce el disco.

Figura 3-4: Diagrama de fuerzas sobre el eje.



Fuente: Elaboración propia

Se procede con el cálculo del diámetro mínimo aceptable del eje en el punto donde se encuentra sometido a la fuerza ejercida por la pequeña columna de material a moler, la cual será constante en condiciones de trabajo. En este punto se estiman los valores de concentración de esfuerzos para hallar el diámetro mínimo requerido (ver Ecuación (1.7)).

Diámetro en P se obtiene mediante

$$D_P = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{2,5(290,061)}{18225} \right]^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2824,26}{30000} \right)^2} \right]^{1/3} = 1,21 \text{ pul (30,73 mm)}$$

Donde:

N: Factor de diseño

T: Par torsional

S_y: Esfuerzo de fluencia

K_t: Factor para chaflán (En este caso es agudo)

S'_n: Resistencia a la fatiga modificada

M: Momento en el punto

Luego en el punto D

$$D_D = \left[\frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{2,5(550,36)}{18225} \right]^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2824,26}{30000} \right)^2} \right]^{1/3} = 1,30 \text{ pul (33,02 mm)}$$

Obteniendo así un eje con una sección de 137,16 mm de longitud y diámetro de 30,73 mm, seguido de otra sección donde ensambla el disco de molienda con una longitud de 32,76 mm y un diámetro de 33,02 mm.

3.6 Selección de dimensiones tornillo sin fin de molino

Para la selección de las dimensiones del tornillo sin fin del molino se tiene en cuenta el diámetro del eje, seleccionando un el valor del alto de las hélices del molino de 3/4 de pulgada de la misma manera que se realiza con el tornillo sin fin de transporte, debido a que esta es la medida capaz de arrastrar el tamaño máximo de grano de 1/2 pulgada. Por lo que $D = d + 2h$ (el valor de la altura de la hélice arriba y abajo del eje).

Tabla 3-3: Especificaciones tornillos sin fin

D=p (mm)	d (mm)	R (mm)	R_0	H (Uds/m)
50,49	26,67	28,88	16,97	18,16
50,49	33,40	28,44	19,89	18,45
50,49	42,16	28,05	23,88	18,70
72,19	26,67	42,52	19,75	12,34
72,19	33,40	41,72	22,32	12,57
72,19	42,16	41,00	25,98	12,79
103,70	26,67	63,13	24,61	8,31
103,70	33,40	61,83	26,67	8,48
103,70	42,16	60,57	29,80	8,66
156,04	26,67	98,65	33,96	5,31
156,04	33,40	96,64	35,32	5,42
156,04	42,16	94,56	37,62	5,54

Fuente: Tomado de [14]

3.6.1 Potencia para el tornillo sin fin

Si se da el caso de que los ejes del tornillo sin fin son largos, es posible que aparezcan problemas de flexión y vibraciones no deseadas debido a su propio peso, por esto se recomienda el uso de tubos de acero al carbono o tubería galvanizada. En la tabla 3-3 son presentados valores para d y D recomendados, concordando con los cálculos hechos del eje del molino y el alto de la hélice. En la Tabla 3-4, son presentados los valores de diámetro de tubería y de las potencias, recomendados para las diferentes longitudes y capacidades, calculados de acuerdo a criterios de la Ingeniería Mecánica y con base en la teoría de este tipo de transportadores [6].

Dado el caso que la longitud del tornillo sin fin transportador sea superior a la indicada en la Tabla 3-4, es necesario el uso de apoyos intermedios.

Figura 3-5: Construcción tornillo sin fin

Construcción del tornillo sinfín en lamina No16 y tubería galvanizada 3/4



Fuente: Tomado de [14]

Tabla 3-4: Diámetro del eje y potencia del tornillo sin fin

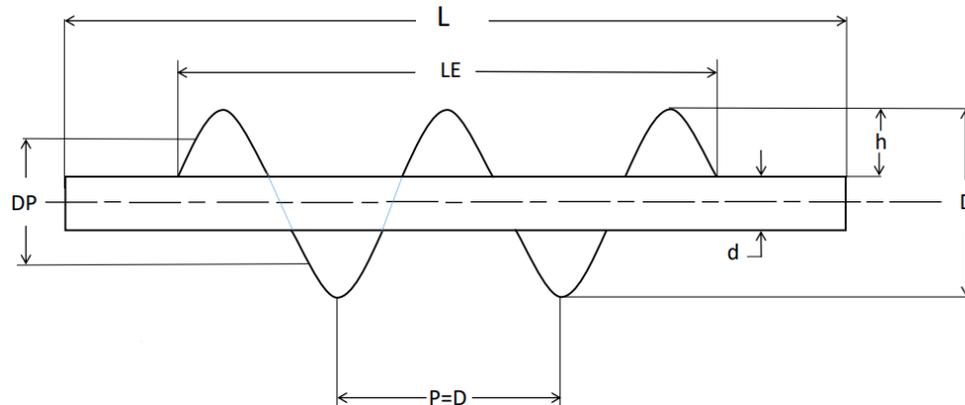
Longitud efectiva (m)	Rango de capacidad (Kg/min)	Motor recomendado (Kw)(hp)	Diámetro recomendado (mm) (pulg)
0,50	30-50	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
1,00	< 30	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
2,00	< 30	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
2,00	30-50	0,67 (0,90)	26,67 (3/4)

Longitud efectiva (m)	Rango de capacidad (Kg/min)	Motor recomendado (Kw)(hp)	Diámetro recomendado (mm) (pulg)
2,50	< 20	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
2,50	20-50	0,67 (0,90)	26,67 (3/4)
3,00	< 20	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
3,00	20-50	0,67 (0,90)	26,67 (3/4)
3,50	<10	0,30 (0,40)	26,67 (3/4)
3,50	10-50	0,67 (0,90)	26,67 (3/4)
4,00	< 10	0,30 (0,40)	33,40 (1)
4,00	<10-50	0,67 (0,90)	33,40 (1)

Fuente: Tomado de [14]

En la figura 3-8, son descritas las principales dimensiones del tornillo transportador del molino. Se denomina D al diámetro exterior, d al diámetro interior o diámetro del eje, p , al paso o avance por vuelta, h a la altura de la hélice, LE a la longitud efectiva de rosca y L a la longitud total, incluyendo la longitud de los apoyos. Para el cálculo de sus dimensiones se tiene en cuenta las características del eje del molino.

Figura 3-6: Dibujo esquemático tornillo sin fin molino



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-5: Dimensiones resumidas tornillo sin fin molino

Le	D	P	d	h	RPM
137,16 mm	70,73 mm	70,73 mm	30,73 mm	20 mm	16,73

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3-5 se muestran las dimensiones en milímetros, obtenidas con base al cálculo del eje y las características del grano planteado.

3.7 Selección de motorreductores de alimentación y molienda.

Los motorreductores son elementos adecuados para el uso cualquier tipo de maquinaria y dispositivos industriales, con el fin de reducir su velocidad de forma segura y eficiente, transmitiendo su fuerza a través de correa, cadena o trenes de engranajes. Existen muchos beneficios al usar este tipo de reductores de velocidad como la adaptación que brinda de velocidad y potencia, aumenta la eficacia de la transmisión de potencia, brinda rigidez en el montaje, ocupa menos espacio y reduce los costos en mantenimiento debido a la seguridad que suministra.

En nuestro caso puntual necesitaremos dos motorreductores de $\frac{3}{4}$ de caballos de potencia los cuales van a ser acoplados por medio de un eje el cual a su vez lleva en su parte superior una tolva de granos de maíz seco, descargando por medio de un ducto hasta la tolva receptora del molino, la cual a su vez lleva un tornillo sin fin engranado a el motorreductor de molienda que está sujeto al disco de fricción móvil.

3.7.1 Motorreductores Corona sin fin serie XC-CM

Los Motorreductores Corona Sin Fin serie XC-CM son la solución es la más habitual, estos motores contienen un doble condensador que le permiten en momentos específicos

disponer de más par. Además, están disponibles los motorreductores combinados, los cuales que permiten obtener a una baja velocidad manteniendo el par.

Tabla 3-6: Motorreductores

Modelo	Diámetro eje (mm)	Altura al centro (mm)	Potencia (KW)	Ratio	Torque máximo (N.m)
WB100	18	80	0,18-0,75	7,97	150
X2	25	100	0,37-0,75	9-59	200
X3	35	140	0,55-3	9-71	280
X4	45	150	0,75-4	9-87	500
X5	55	160	1,5-7,5	9-87	1000
X6	65	200	2,2-11	9-87	2000
X7	80	220	4-18,5	9-87	2700
X8	90	250	7,5-30	9-87	4500
X9	100	290	11-37	9-87	7100
X10	110	325	15-45	9-87	12000

Fuente: Tomado de [23]

El motorreductor elegido en la tabla 3-6 es el que más se ajusta a los requerimientos planteados anterior mente, como lo son la energía requerida para la molienda, la potencia necesaria para el transporte y la potencia requerida para el accionamiento del tornillo sin fin de molienda a la capacidad estipulada de 0,3 t/h

3.8 Selección de rodamiento

Al momento de seleccionar un rodamiento para el diseño de una maquina se tendrá en cuenta unas características puntuales, las cuales ayudaran a prolongar la vida de la máquina y asegurar el correcto funcionamiento de esta.

Estas son:

- Carga de diseño sobre el rodamiento o carga equivalente
- Diámetro aceptable del eje

- Duración de diseño del rodamiento
- Factor por velocidad y factor por duración
- Condiciones de montaje

Figura 3-7: Esquema y partes de rodamiento y chumacera



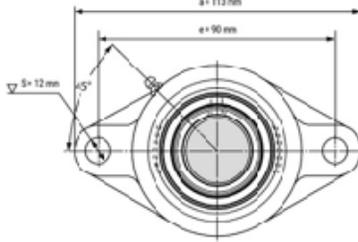
Fuente: Tomado de [13]

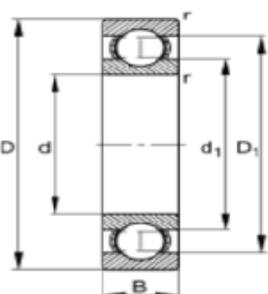
Para lograr el movimiento ideal del tornillo sin fin de alimentación, es necesario utilizar una chumacera en su extremo, de esta manera se permite que este gire con el menor coeficiente de fricción posible. Para este fin se ha propuesto una chumacera de soporte que contiene un rodamiento interno que presenta las mismas características de construcción que los rodamientos de serie 62 y 63, soportando una combinación de carga axil y radial. La capacidad de carga nominal es considerablemente mayor que la correspondiente a los rodamientos de autolineabilidad usados para soportes.

La chumacera seleccionada tiene características similares a las de un rodamiento rígido de una hilera de bolas (Figura 20) de serie 6204, lo cual de acuerdo al catálogo NTN-Chumaceras, sería equivalente a una chumacera de código UCFLU 204. Las características de esta son las siguientes:

Figura 3-8: Características chumacera propuesta

Tipo de Alojamiento Material : Hierro Fundido	Cubierta	Tipo de Rodamiento						
		UC	UEL REL	UK	AS AR	AEL JEL	CS	
Tipo brida ovalada		–	UCFLU	UELFLU RELFLU	UKFLU	ASFLU ARFLU	AELFLU JELFLU	–





D ₁	38,4 mm
d ₁	28,8 mm
D _{a max}	41,4 mm
d _{a min}	25,6 mm
r _{a max}	1 mm
r _{min}	1 mm

C _{0r}	0600 N	Capacidad de carga estática, radial
C _u	455 N	Carga límite de fatiga, radial
n ₀	22100 1/min	Velocidad límite
n _r	16300 1/min	Velocidad de referencia
f ₀	13,1	Factor de cálculo

d	20 mm
D	47 mm
B	14 mm

Fuente: Tomado de [24]

3.9 Calculo de dimensiones y capacidad de la tolva de transporte

Como se menciona anteriormente, este prototipo de molino se realiza con base a los granos de maíz, por presentar características de dimensión y propiedades físicas mayores que los otros granos propuestos.

Se procede a estimar la forma de la tolva, la cual se elige con forma de prisma trapezoidal o lingote, lo que ayudaría a que el material sea dirigido hacia el tornillo de transporte, con dimensiones y ángulo que permita que el material no se apile y pueda caer sobre el tornillo sin ser retenido por las paredes.

Por motivos de espacio se estipulan algunas dimensiones iniciales:

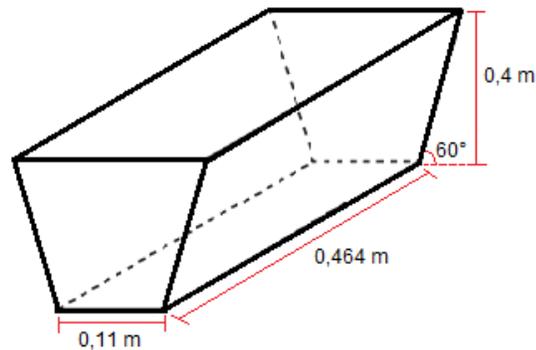
Base de la tolva= 0,11 m x 0,464 m

Altura de la tolva= 0,4 m

Angulo de inclinación de las paredes= 60°

El ángulo de las paredes se escoge con base al ángulo de talud, el cual es definido como la pendiente que forma una pila de material al granel, hasta la cual es posible que el material se estabilice sin presentar deslizamiento, que para el caso particular del maíz tiene un valor máximo de 30°, por lo cual se decide duplicar este valor, asegurándose de que la totalidad del material se deslice sobre las paredes.

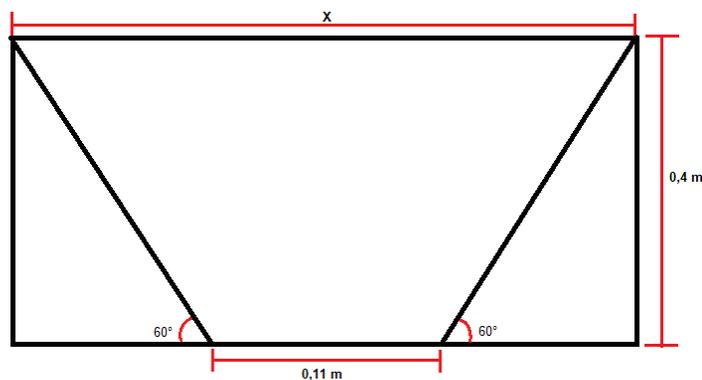
Figura 3-9: Tolva, dimensiones iniciales



Fuente: Elaboración propia.

Se procede a calcular el área de la base del prisma trapezoidal, tomando como referencia o base la cara frontal.

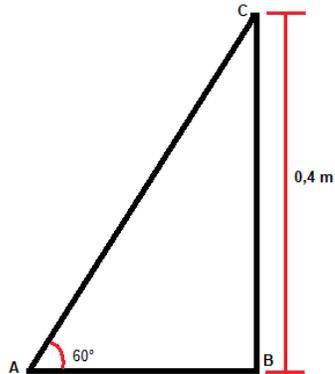
Figura 3-10: Cara frontal de la tolva inicial



Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia la figura 3-12, es necesario conocer el valor de X, teniendo en cuenta los ángulos de inclinación de las paredes. Para esto se toma el triángulo rectángulo formado.

Figura 3-11: Triángulo rectángulo de referencia



Fuente: Elaboración propia.

Del triángulo en la figura 3-13, solo se conoce el ángulo de inclinación y la dimensión de uno de sus lados, para las dimensiones del resto de lados se procede a realizar el siguiente procedimiento:

Para la distancia AC

$$\text{Sen } 60^\circ = \frac{0,4 \text{ m}}{AC} \quad (3.10)$$

Despejando

$$AC = \frac{0,4 \text{ m}}{\text{sen } 60^\circ} = 0,46 \text{ m}$$

Para la distancia AB

$$\text{Cos } 60^\circ = \frac{AB}{0,46 \text{ m}} \quad (3.11)$$

Despejando

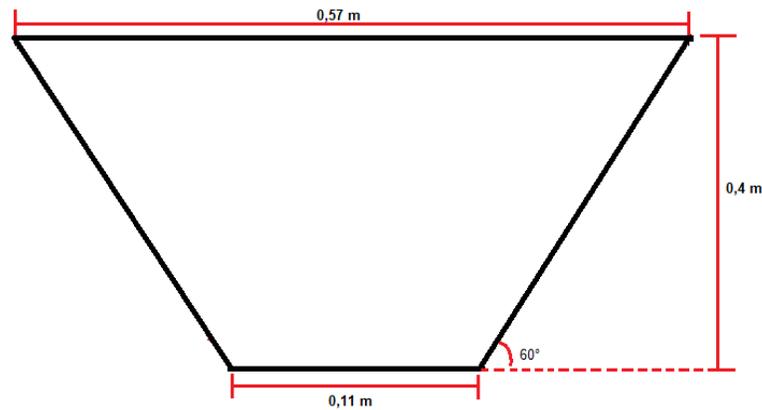
$$AB = \text{Cos } 60^\circ (0,46\text{m}) = 0,23 \text{ m}$$

Con al cálculo anterior se deduce que

$$X = 0,11 + (2) 0,23 = 0,57 \text{ m}$$

Entonces las dimensiones de la cara frontal serán las descritas en la figura 3-14.

Figura 3-12: Cara frontal de la tolva final



Fuente: Elaboración propia.

Con los valores anteriores ya es posible realizar el cálculo del volumen de la tolva, mediante el siguiente procedimiento:

$$A_{Base} = \frac{(a+b)}{2} h_1 \quad (3.12)$$

Donde

$$a = 0,11 \text{ m}$$

$$b = 0,57 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

Se reemplazan los valores

$$A_{Base} = \frac{(0,11 \text{ m} + 0,57 \text{ m})}{2} (0,4) = 0,136 \text{ m}^2$$

Entonces el volumen viene dado por la ecuación

$$V = A_{Base} \cdot h_2 \quad (3.13)$$

Donde h_2 : Altura del prisma trapezoidal

Reemplazando los valores en la ecuación (vea Ecuación 3.13) se obtiene

$$V = (0,136 \text{ m}^2)(0,464 \text{ m}) = 0,063 \text{ m}^3$$

Para conocer la cantidad de maíz en Kg, que contendría el volumen anteriormente calculado se utiliza la ecuación:

$$m = \rho \cdot V \quad (3.14)$$

Donde

ρ : Densidad del maíz en Kg/m^3 (El valor de la densidad del maíz fue obtenido del anexo C-9)

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos que

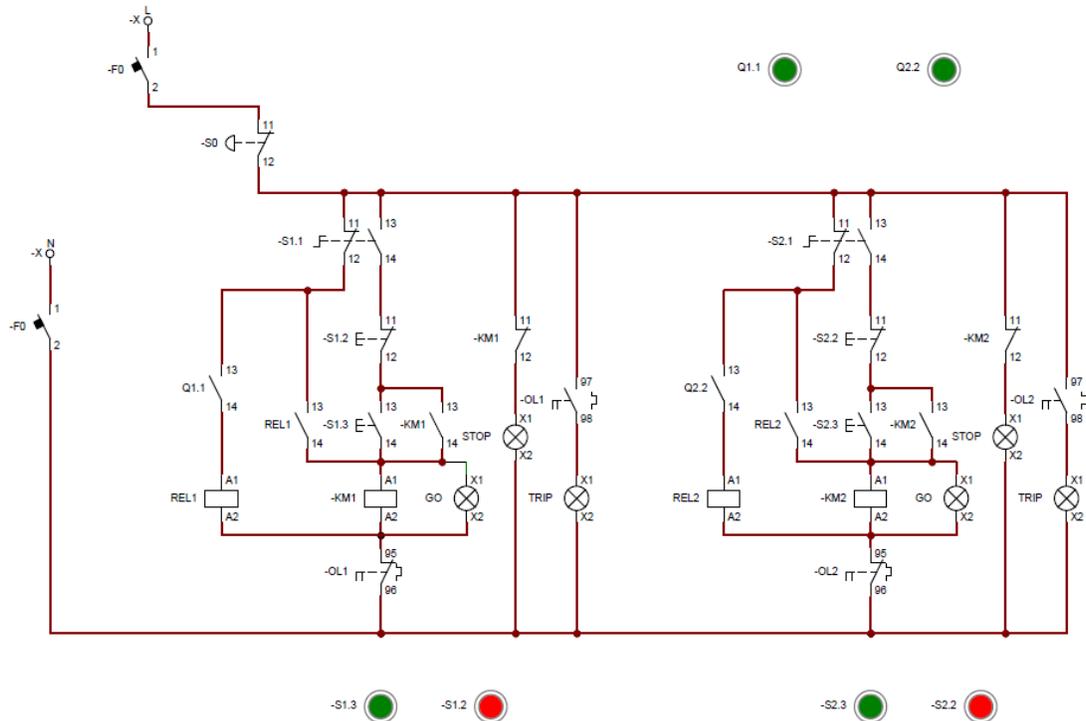
$$m = (800 \text{ Kg}/\text{m}^3)(0,063 \text{ m}^3) = 50,4 \text{ Kg}$$

Teniendo en cuenta que la capacidad para la cual está diseñado el molino es de 300 Kg/h y el maíz es empacado normalmente en bultos de 50 Kg, deducimos que la tolva debe ser llenada aproximadamente cada diez minutos con un bulto, en caso de que se requiera moler más de 50 Kg.

3.10 Parte eléctrica y controles

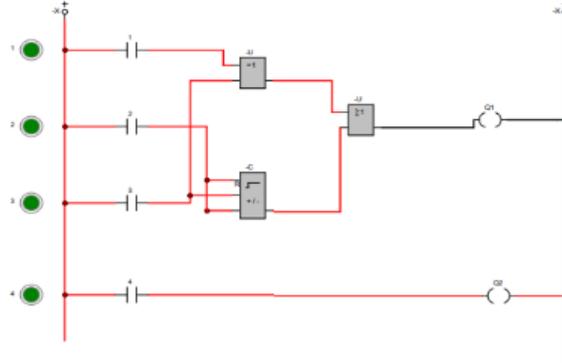
Se realiza la simulación del circuito de fuerza y control con ayuda del software CAD cade-simu (para comandos eléctricos). Este circuito es controlado por PLC debido a que contiene tres sensores de protección, arranque y cargue de producto. Los circuitos de fuerza y control pueden ser utilizados tanto en motores monofásicos, como en motores trifásicos. En este caso el circuito de control es similar al de fuerza, solo es necesario eliminar una fase y cambiarla por un neutro de manera opcional, esto si los motores o las bobinas de control son de 115 V o 240 V. Además, se cuenta con dos sensores de nivel, uno en cada tolva, para de esta manera poder accionar o detener la marcha de los motores cuando estos emitan la señal de que se encuentra bajo o alto nivel de material y así evitar que se gaste energía y el funcionamiento innecesario de estos.

Figura 3-13: Circuito eléctrico de control del molino de transmisión interna



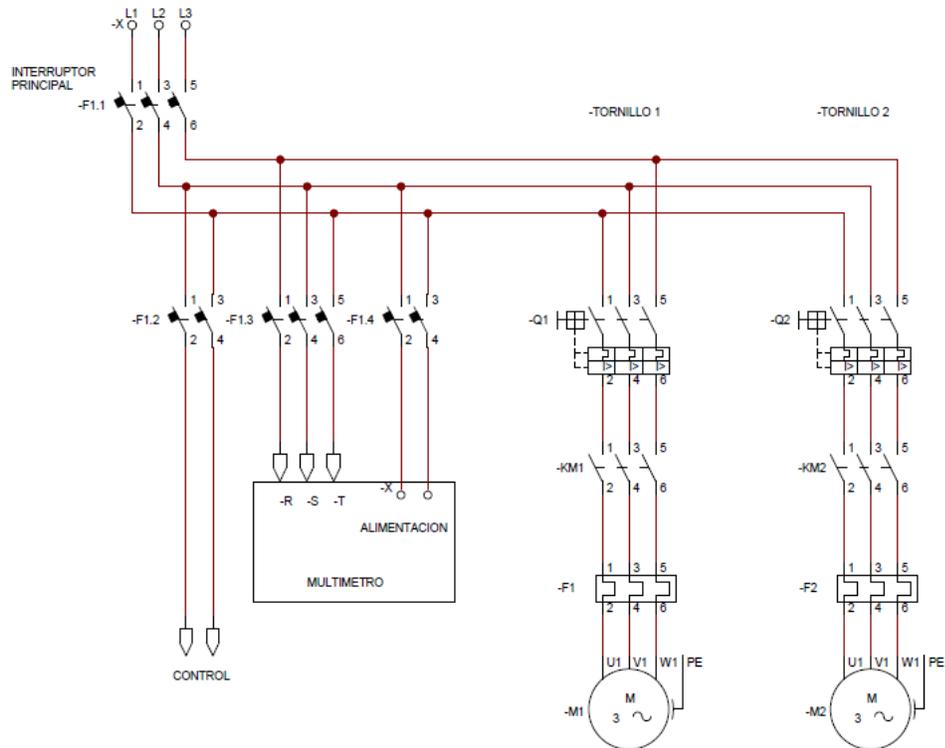
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-14: Circuito eléctrico de control compuerta lógica PLC



Fuente: Elaboracion propia.

Figura 3-15: Circuito eléctrico de fuerza del molino de transmisión interna



Fuente: Elaboración propia.

3.10.1 Selección de elementos eléctricos

Teniendo en cuenta los elementos planteados en los circuitos eléctricos de control y fuerzas, a continuación, se proponen algunos elementos con sus respectivas características que pueden ser usados para el montaje eléctrico del molino compacto de transmisión interna para granos secos y su respectivo cargo automatizado de producto. Estos elementos pueden ser seleccionados dependiendo de los cálculos que a continuación se realizan y a la preferencia de quien vaya a construir el molino, teniendo en cuenta los factores de calidad y precio.

Controlador modular PLC SIMATIC S7-1200

Es utilizado para tareas de automatización sencillas, pero aporta gran precisión en la operación. Sus características son las siguientes:

- Alta capacidad de procesamiento
- Interfaz Ethernet / Profinet integrado
- Entradas analógicas integradas
- Contiene bloques de función para el control de ejes conforme a PLCopen
- Su programación es posible mediante el software STEP 7 Basic V 13.
- Este sistema tiene equipado cinco modelos diferentes de CPU, lo que permite expandir las necesidades y requerimientos de la máquina [25].

Motores eléctricos de inducción

La cantidad de energía que consumen estos motores que es aprovechada depende del rendimiento de este. Para su selección hay una variedad de potencias con rendimiento comprendido entre el 95% o superior, y un 65%, lo cual es necesario conocer al momento de escoger un motor. La figura 3-18 muestra una tabla con las potencias nominales de motores trifásicos de inducción calculados con un factor de potencia del 80%, además se señala la opción ideal dependiendo del parámetro de potencia requerida en los dos motorreductores teniendo en cuenta que fueron seleccionados dos motorreductores de 0,75 HP.

Figura 3-16: Tabla potencias nominales motores trifásicos de inducción

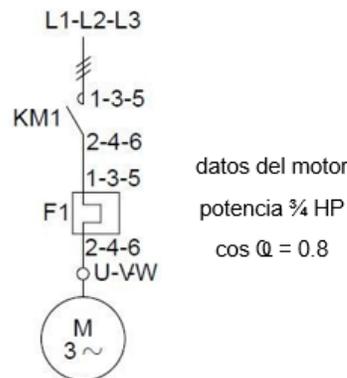
TABLA POTENCIAS NOMINALES MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN
3000/1500 rpm. [Cos. φ 0,8]

Potencia nominal de los motores
seleccionado para el proyecto

KW	HP	220 V. I [A]	380 V. I [A]	660 V. I [A]
0,18	0,25	0,6	0,3	0,2
0,37	0,5	1,2	0,7	0,4
0,55	0,75	1,8	1	0,6
0,74	1	2,4	1,4	0,8
1,1	1,5	3,6	2,1	1,2
1,5	2	4,8	2,8	1,6
2,2	3	7,3	4,2	2,4
2,9	4	9,7	5,6	3,2
4	5,5	13,3	7,7	4,4
5,5	7,5	18,1	10,5	6
7,4	10	24,2	14	8,1
11	15	36,3	21	12,1
13,6	18,5	44,7	25,9	14,9
14,7	20	48,3	28	16,1
18,4	25	60,4	35	20,1
22,1	30	72,5	42	24,2
25	34	82,2	47,6	27,4
29,4	40	96,7	56	32,2
44,2	60	145	84	48,3
55,2	75	181,3	105	60,4
73,6	100	241,7	139,9	80,6
92	125	302,2	174,9	100,7
110,4	150	362,6	209,9	120,9
128,8	175	423	244,9	141
161,9	220	531,8	307,9	177,3
220,8	300	725,2	419,8	241,7

Fuente: Tomado de [26]

Figura 3-17: Diagrama unifilar del motor trifásico seleccionado



Fuente: Elaboración propia.

La figura 3-19 muestra el diagrama unifilar del motor trifásico seleccionado, junto con las características necesarias para el cálculo de los componentes de protección. Para la realización de estos cálculos se tiene en cuenta los conceptos de fundamentos de circuitos eléctricos. [26]

Contactores de motor

Se aplica este elemento para el accionamiento del circuito, permitiendo realizar la maniobra de cierre y apertura de este. Procedemos al cálculo de intensidad nominal mediante la ecuación (ver Ecuación (3.15)).

$$I_N = \frac{P}{V \cos \phi \sqrt{3}} \quad (3.15)$$

Donde

I_N : Intensidad nominal

V: Tensión de trabajo

Cos ϕ : desfasaje entre la intensidad y la tensión = 0,8° (como valor estándar o constante dado para el motor)

$\sqrt{3}$: constante para motores trifásicos

P: Potencia en KW

Por lo anterior tenemos

$$P = 3/4 \text{HP} = 0.55 \text{KW} = 550 \text{ W}$$

$$I_N = \frac{550 \text{ W}}{(220)(0,8)(\sqrt{3})} = 1,8 \text{ A}$$

Concordando con el valor de la figura 3-18.

Se procede a realizar la selección del interruptor electromagnético, el cual se selecciona con un valor del 120% de la intensidad nominal, por lo tanto:

$$\text{Interruptor} = I_N (1,2) \quad (3.16)$$

$$\text{Interruptor} = (1,8) (1,2) = 2,16 \text{ A}$$

Este valor puede variar dependiendo de las referencias del fabricante del dispositivo a escoger.

Para la selección del contactor se le debe aumentar un 15% al valor de la intensidad nominal hallada

$$\text{Contactor} = I_N (1,15) \quad (3.17)$$

$$\text{Contactor} = (1,8) (1,15) = 2,07 \text{ A}$$

Relé térmico

Con base a las características de los motores seleccionados se propone el siguiente relé térmico, que cumplirá con la función de proteger el motor contra sobrecargas y recalentamientos, asegurando así la vida útil de estos. El rango de protección del relé se realizará como valores máximo y mínimo

$$I_N (0,8) \text{ para m\u00ednimo} \quad (3.18)$$

$$I_N / 0,8 \text{ para m\u00e1ximo} \quad (3.19)$$

$$\text{M\u00ednimo} = (1,8) (0,8) = 1,44 \text{ A}$$

$$\text{M\u00e1ximo} = (1,8) / (0,8) = 2,25 \text{ A}$$

Sensor de proximidad

Para este proyecto se propone un sensor de tipo inductivo y de material pl\u00e1stico, debido a que este estar\u00e1 en contacto con productos alimenticios, es de f\u00e1cil limpieza y remoci\u00f3n. En el mercado encontramos una amplia variedad, uno de los que m\u00e1s se ajusta a las necesidades es el sensor inductivo XS4 MH18 – C 40,6 mm – PBT –Sn, que contiene las siguientes caracter\u00edsticas:

Figura 3-18: Caracter\u00edsticas principales sensor propuesto

Gama de producto	OsiSense XS
Nombre de serie	Aplicaci\u00f3n
Tipo de sensor	Sensores de proximidad inductivo
Tipo de circuito el\u00e9ctrico	Salida anal\u00f3gica
Nombre de detector	XS4
Dise\u00f1o del detector	M18 cil\u00edndrico
Tama\u00f1o	41 mm
Tipo de cuerpo	Fijo
Capacidad de montaje empotrado	Montaje no empotrado
Material	Pl\u00e1stico
Tipo de se\u00f1al de salida	Anal\u00f3gico
T\u00e9cnica de cableado de detector	2 hilos
Distancia de detecci\u00f3n nominal	8 mm
Funci\u00f3n de salida digital	1 NC
Tipo circuito de salida	CC
Rango de salida anal\u00f3gica	4...20 mA
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	Cable
Longitud de cable	2 m
[Us] tensi\u00f3n de alimentaci\u00f3n asignada	12...24 V CC
Grado de protecci\u00f3n IP	IP67 acorde a IEC 60529

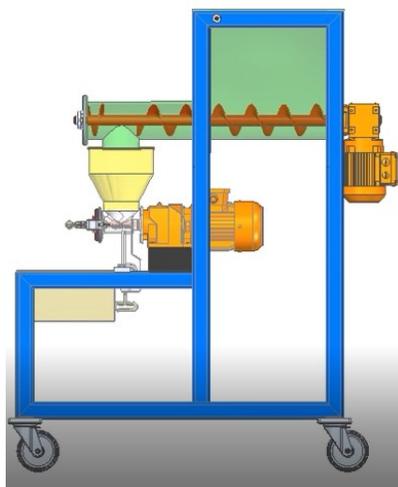
Fuente: Tomado de [27]

4. Resultados

4.1 Simulación

Una vez que se realiza el análisis y el diseño de los elementos más importantes, se procede al ensamble de todas las piezas en el software CAD Solid edge como se presenta en la figura 4-1, teniendo en cuenta principalmente la composición de la cadena cinemática presentada. Este diseño es sometido a pruebas de simulación de movimiento, con lo cual se comprueba que es funcional. Cabe resaltar que este prototipo crea una ventaja competitiva a los molinos tradicionales encontrados en el mercado, algunas de estas son su diseño compacto, el sistema automatizado de nivel de material, el fácil transporte debido a su tamaño y a los elementos de transporte, además de la alta capacidad de molienda para la cual fue diseñado.

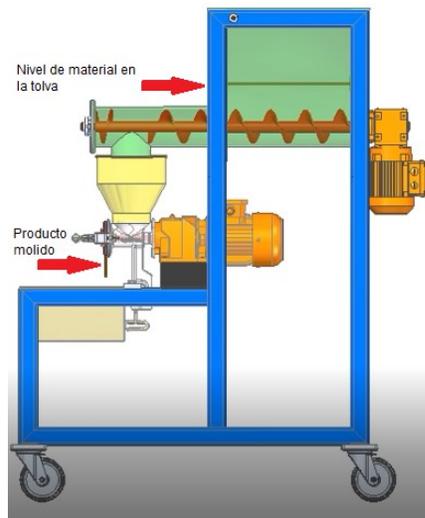
Figura 14-1: Vista lateral del molino compacto sin armazón



Fuente: Elaboración propia

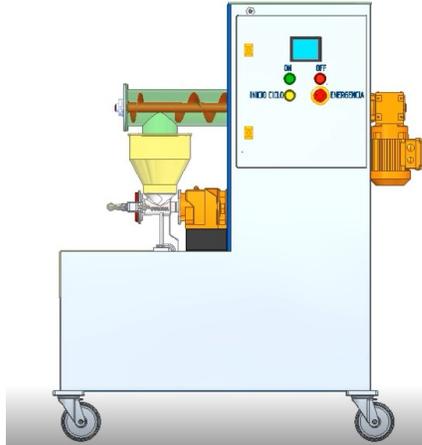
Teniendo en cuenta las características de los elementos calculados y seleccionados anteriormente se procede a realizar el montaje de las piezas, acoplándolas entre sí con la intención de que exista armonía entre estas y se logre un diseño compacto.

Figura 4-2: Funcionamiento del molino



Fuente: Elaboración propia

Se realiza la simulación del molino en funcionamiento, apreciado la manera en que el tornillo sin fin de transporte va reduciendo el nivel de material en la tolva de transporte y va llevándolo a la tolva receptora ensamblada al molino. Además, se aprecia como el producto final molido sale de entre los discos del molino directo a la tasa recolectora (figura 4-2).

Figura 4-3: Presentación final de molino

Fuente: Elaboración propia

Los elementos que no fueron calculados son aplicados e incorporados al diseño con características estándar que permiten el funcionamiento del molino, como lo son la tasa recolectora, el almacén, los soportes, los rodachines, etc. En la figura 4-3 se aprecia la presentación final, colocándose una lámina metálica que permita la protección de todos los componentes internos del molino y los elementos de control como los botones que le permiten al usuario su manipulación.

4.2 Costos de construcción

Para determinar el costo del molino es necesario tener en cuenta:

- Costo de materiales y componentes
- Costo maquinado
- Costo de mano de obra

Los costos presentados a continuación son un aproximado al valor real, debido a que a criterio propio de quien lo decida construir se deben elegir la calidad de los diferentes elementos que conforman el molino como lo es la marca. Estos cálculos son realizados con base al precio de materiales y productos de muy alta calidad lo que aseguraría la prolongación de su vida útil y un mejor desempeño dentro del proceso, se puede optar por comprar elementos de menor calidad, notando así una reducción significativa en el costo total.

Tabla 4-1: Costo componentes eléctricos

COMPONENTES ELECTRICOS						
Descripcion	Marca	Referencia	Recursos Estudiante			
			Cant	Und	Valor Unitario	Valor Total
Disyuntor de 6 amperios de 2 polos	Schneider Electric	A9F74206	1	Und	\$ 82.900	\$ 82.900
Disyuntor tripolar 6 amp	Schneider Electric	A9F74306	1	Und	\$ 134.900	\$ 134.900
Selector	Schneider Electric	XB4BD21	2	Und	\$ 34.000	\$ 68.000
Relevo auxiliar	Schneider Electric	Rumc32f7	2	Und	\$ 150.000	\$ 300.000
Pulsador Paro de emergencia	Schneider Electric	Xb4bs8442	1	Und	\$ 80.000	\$ 80.000
Indicador Led piloto	AD16	AD16-22DS	6	Und	\$ 10.000	\$ 60.000
Contactador	Schneider Electric	TeSys LC1-K - 3P	2	Und	\$ 652.900	\$ 1.305.800
Rele Termico	Schneider Electric	Lrd07 1.6-2.5a	2	Und	\$ 70.000	\$ 140.000
PLC	Siemens	PLC SIMATIC S7-1200	1	Und	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Cable de control	Cetelsa	AGW 18	10	mts	\$ 1.600	\$ 16.000
Riel Omega	Cold Rolled	Roa351	1	mts	\$ 85.000	\$ 85.000
Gabinete	Roker	PRG352	1	Und	\$ 390.600	\$ 390.600
Sensor Inductivo	Schneider Electric	XS4 MH18	4	Und	\$ 233.900	\$ 935.600
Breaker totalizador	Schneider Electric	A9F74340	1	Und	\$ 165.900	\$ 165.900
Breaker de motores	Chint	Nb1-63	2	Und	\$ 55.000	\$ 110.000
Medidor amperimetro	Chint	AT3010ACS	1	Und	\$ 80.000	\$ 80.000
Cableado de fuerza	Procables	AGW No. 10	10	mts	\$ 4.900	\$ 49.000
						\$ 5.803.700

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-2: Costo elementos mecánicos

ELEMENTOS MECANICOS						
Descripcion	Marca	Referencia	Recursos Estudiante			
			Cant	Und	Valor Unitario	Valor Total
TUBO CUADRADO DE 2 1/2 PULGADAS	Stanley Steel		14	Mts	\$ 25.000	\$ 350.000
TUBO CUADRADO ACERO INOXIDABLE 1 PULGADA	Stanley Steel		6	Mts	\$ 20.833	\$ 124.998
LAMINA ACERO INOXIDABLE DE ¼ ESPESOR	Stanley Steel		¾	Und	\$ 122.870	\$ 430.000
HERRAJES (TORNILLERIAS)	Herragro		12	Und	\$ 2.100	\$ 25.200
RUEDAS CON FRENO	Ruedas y Ruedas	R-3	4	Und	\$ 11.250	\$ 45.000
						\$ 975.198

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-3: Costo equipos

EQUIPOS						
Descripcion	Marca	Referencia	Recursos Estudiante			
			Cant	Und	Valor Unitario	Valor Total
Moto Reductor	Buy Quality	WB100	2	Und	\$ 651.644	\$ 1.303.288

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-4: Costo mecanizado y mano de obra

MECANIZADO Y MANO DE OBRA					
Descripcion	Maquina	Unidad de Medida	Cant	Valor Unitario	Valor Total
Mecanizado de tornillo de transporte	Torno	Pulgadas	16	\$ 180.000	\$ 2.880.000
Mecanizado de tornillo de Molino	Torno	Pulgadas	6	\$ 180.000	\$ 1.080.000
Mecanizado de Disco fijo de Molino	Torno	Pulgadas	Refrentado		\$ 100.000
Mecanizado de Disco Movil de Molino	Torno	Pulgadas	Refrentado		\$ 100.000
Fresado de Disco fijo de Molino	Fresadora	Und	1	\$ 320.000	\$ 320.000
Fresado de Disco Movil de Molino	Fresadora	Und	1	\$ 320.000	\$ 320.000
Soldadura estructural					\$ 250.000
Servicio de Roladora					\$ 150.000
					\$ 5.200.000

Fuente: Elaboración propia

Costo total aproximado= \$ 13282186 (Trece millones doscientos ochenta y dos mil ciento ochenta y seis pesos)

Esto teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado acerca de la dependencia de este valor en calidad y marcas.

4.3 Operación segura y mantenimiento

Si bien es claro que el proyecto se enfoca en el diseño del molino, es necesario poner en conocimiento el mantenimiento requerido y la correcta operación de la máquina, teniendo en cuenta de que el paso siguiente al diseño es la construcción. Esto se realiza teniendo en cuenta de que los elementos seleccionados y calculados son piezas que necesitan de un tratamiento que permita la perduración de sus propiedades y funcionamiento.

4.3.1 Procedimiento de operación segura

Para la operación segura de este tipo de máquinas es necesario tener en cuenta aspectos importantes que puedan afectar la salud del operario o la vida útil del molino.

4.3.1.1 Antes de encender el molino:

- Realizar una inspección visual general, con el fin de verificar que todos los elementos del molino se encuentren en su posición correcta, ajustados y en buen estado.
- No introduzca objetos extraños, ni las manos dentro de la tolva para empujar el material.
- Mantenga el área de operación limpia y libre obstáculos que impidan la movilidad en el área.
- Verificar sistema eléctrico y conexiones del molino.
- Asegurarse que el sistema eléctrico no contiene humedad.
- Verificar que las piezas se encuentran en su lugar correcto.
- Verificar que no hay cuerpos extraños atascados entre sus partes móviles como tornillos sin fin y discos de molienda.
- Evite tener elementos que estén atados o ropa que pueda quedar atascada en el molino.
- Evite usar el molino en temperaturas muy altas o muy bajas (10° C – 45° C). Los cambios bruscos de temperatura pueden crear condensación en el interior de la máquina.

- Procure tener elementos de protección personal básicos, como calzado, vestimenta adecuada y protección visual si se encuentra cerca de la tolva.

4.3.2.2 Después de cada uso

- Desconecte el molino. (Evite desconectarlo sin colocar el interruptor en posición de apagado)
- Retire el disco y limpie los residuos de grano.
- Cubra el molino con algún protector que impida el ingreso de cuerpos extraños
- Esperar que los motores se atemperen antes de colocar cualquier tipo de protección sobre la máquina.

Para el chequeo del procedimiento se propone el formato de lista de chequeo presentado en la figura 4-4, donde se resumen los parámetros evaluables para la operación segura en general del molino.

Figura 15Figura 4-4: Lista de chequeo para operación del molino.

Lista de chequeo para operación de molino		
	FECHA:	
	REALIZÓ:	
Antes de encender el molino	Ejecutado	Estado
Inspeccion visual general		
Inspeccion de area de operación		
Inspección de sistema electrico y conexiones		
Elementos de proteccion personal		
Temperatura ambiente (Si es posible su medida)		
Despues de usar el molino	Ejecutado	Estado
Alimentacion electrica		
Inspeccion visual discos		
Atemperamiento de maquina		
Proteccion de molino con toldo		
Notas:		

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Mantenimiento

El mantenimiento mostrado a continuación es preventivo y general, teniendo en cuenta el conjunto completo y ensamblado del molino. En caso de mantenimiento correctivo y cambio de los equipos que conforman la máquina, se recomienda seguir los procedimientos estipulados por el fabricante de la pieza y su respectiva periodicidad.

Antes de realizar cualquier mantenimiento asegurarse de que el molino no está enchufado.

4.3.2.1 Semanal

- Limpieza externa. (Evite usar agua u otros líquidos a chorro)
- Verificación de conexiones eléctricas externas.
- Inspección visual externa de piezas.
- Verifique que los sensores de nivel cumplen con su función (Cambie si es necesario).

4.3.2.2 Mensual

- Verificación de componentes mecánicos, ajustas o reemplazar si es necesario.
- Lubricación de piezas móviles.
- Ajuste de piezas móviles.
- Verificación de hermeticidad la máquina (aislamiento de piezas delicadas)
- Verificación de roses entre elementos móviles, esto puede crear sobrecargas prolongadas en los componentes.
- Verifique que la maquina se encuentra lo más nivelada posible, para que no exista desajuste de sus piezas.

4.3.2.3 Trimestral

- Reemplazo de grasa de rodamiento (En caso de que sea posible)
- Limpieza interna. (No utilice elementos de limpieza abrasivos que puedan desgastar las superficies, ni sustancias corrosivas)
- Verificación de conexiones eléctricas internas. Ajustar o reemplazar si es necesario.

- Verificación de tornillo sin fin en busca de desgaste o agrietamiento en sus hélices. Cambie si es necesario.
- Verificación de discos de molienda en busca de desgaste o agrietamiento en sus aristas. Cambie si es necesario.

Para la realización del mantenimiento se propone el formato de mantenimiento presentado en el anexo E-1.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Este proyecto se pone en conocimiento de la sociedad en general y de la ingeniería como contexto de estudio, con el fin de beneficiar a las pequeñas y medianas empresas colombianas dedicadas al procesamiento de granos secos. En este se logró realizar el diseño de un prototipo de molino compacto con transmisión interna y cargue automatizado para granos secos, con la finalidad de mejorar el proceso convencional de la reducción de tamaño y procesamiento de estos materiales. Se tuvieron en cuenta principios y conceptos de la ingeniería para la realización de una cadena cinemática que muestra y representa el movimiento de los elementos y la secuencia de funcionamiento del molino. Además, se realizaron los cálculos y la selección de los elementos mecánicos y eléctricos más importantes que influyen en el proceso de la molienda automatizada, tomando como referencia los procedimientos estipulados para el diseño de elementos de máquinas y los productos disponibles en el mercado. Con base a los resultados obtenidos en el cálculo y la selección de elementos, se realizó la simulación del proceso de molienda, ensamblando cada uno de estos y observando que el conjunto cumple con la secuencia y la composición de la cadena cinemática, lo que determinó el comportamiento óptimo del molino con las condiciones establecidas en el diseño. La geometría y organización utilizada 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. Finalmente se crean formatos para la operación segura y el mantenimiento, que contienen una lista de chequeo con aspectos generales que se deben tener en cuenta una vez sea aplicado el diseño del prototipo, ayudando a mantener la trazabilidad del uso y el estado de funcionamiento del molino.

El molino diseñado es asequible a pequeñas y medianas empresas por su composición y por el bajo requerimiento de mantenimiento, lo que implica un bajo costo, demostrando que la implementación de herramientas tecnológicas agroindustriales puede traer un gran beneficio a este grupo de la sociedad y a todas las partes interesadas.

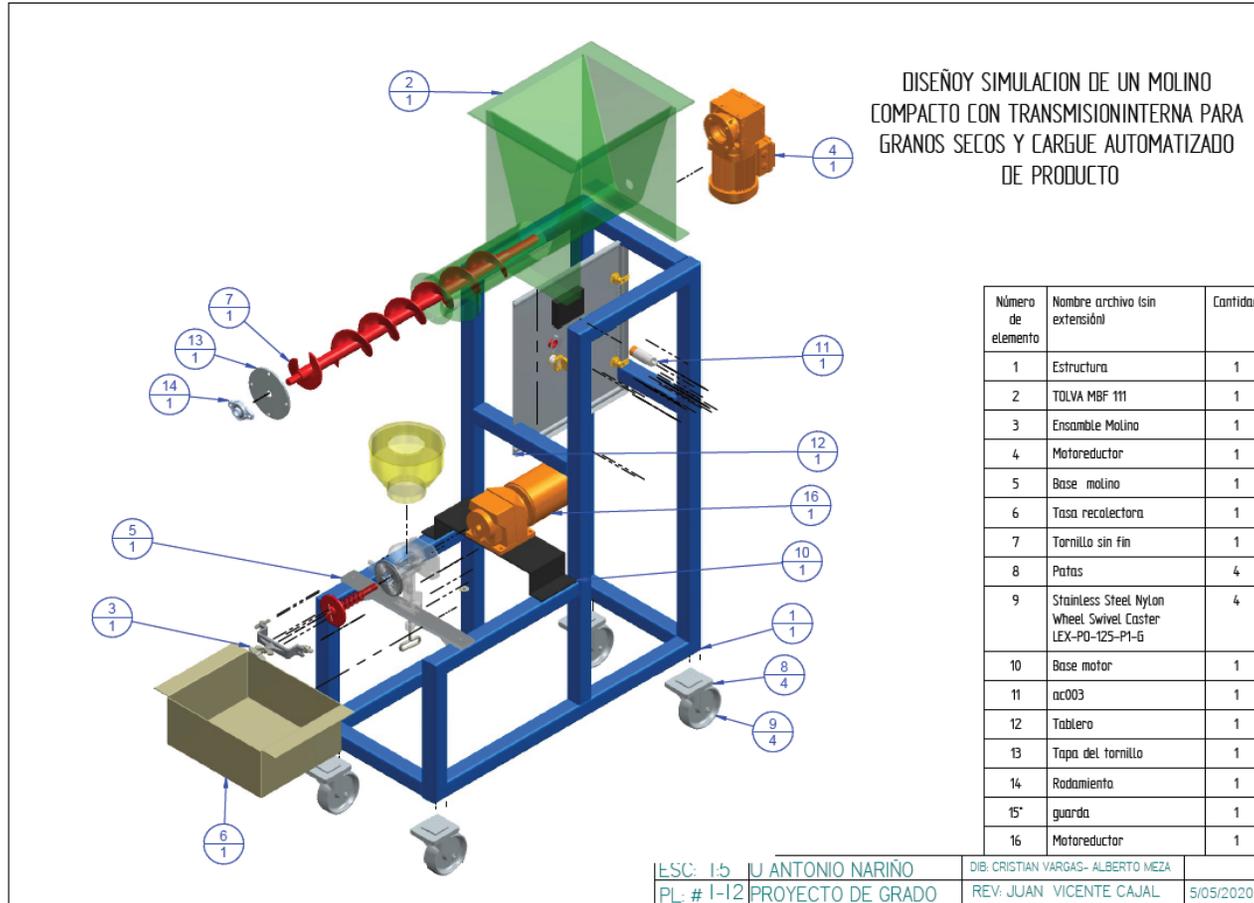
5.2 Recomendaciones

1. Los cálculos hechos para los motorreductores son sólo para las cantidades dispuestas en este proyecto, cualquier modificación a sus capacidades pueden llegar a causar daños permanentes en el equipamiento, como son, daños a la estructura de montaje, daño en los motorreductores, daño en los tornillos sin fin por torque excesivo, sobrecalentamiento en los circuitos eléctricos y demás partes incluidas en el proyecto.
2. Las mejoras dispuestas para este proyecto de molino de granos, solo serán realizadas por personal calificado y capacitado.
3. Este molino fue diseñado para la molienda de granos secos y materiales con características muy similares a estos. Si se requiere moles un material con características diferentes a planteadas, es necesario que se realicen los cálculos con los nuevos parámetros.
4. Aunque la selección de la calidad y marca de los elementos planteados en el proyecto depende de la preferencia del usuario, se recomienda escoger elementos en el mercado de buena calidad para asegurar la vida útil del molino y se requiera poco mantenimiento.
3. En caso de avería es recomendable mantener el equipo apagado hasta que llegue el personal calificado que evalúe el daño y pueda solucionarlo.
5. Si se aplica este diseño, el proceso de construcción debe ser realizado con condiciones de higiene y seguridad estrictas, el lugar debe ser amplio y despejado para que el constructor tenga un buen desempeño.
6. Este diseño está sujeto a modificaciones, con el fin de mejorar las características del sistema y la eficiencia de este.

Anexos

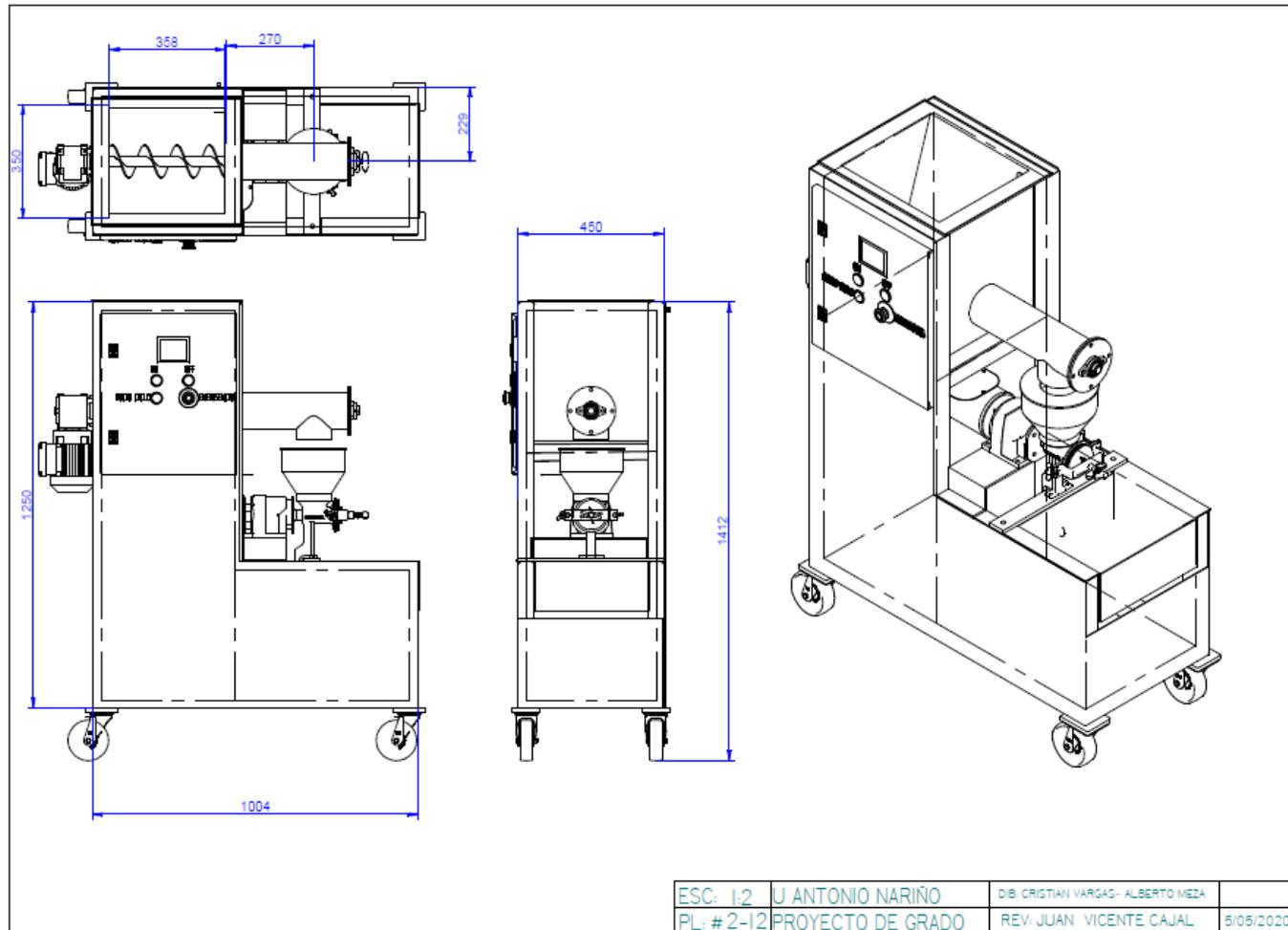
A. Anexo: Planos mecánicos del molino y sus elementos

Anexo A-1. Elementos que componen el molino compacto con transmisión interna.



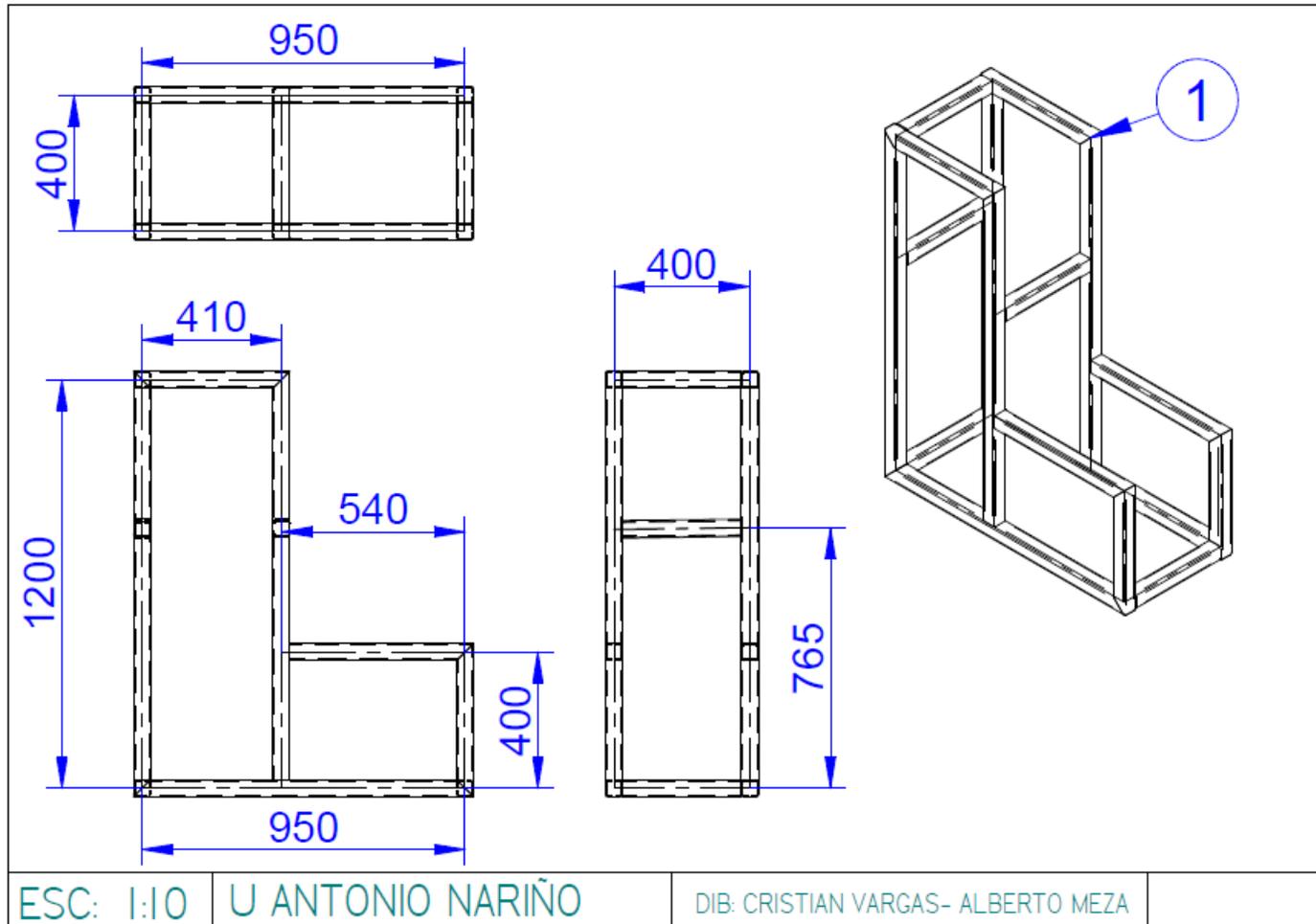
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-2. Plancha molino compacto con transmisión interna. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



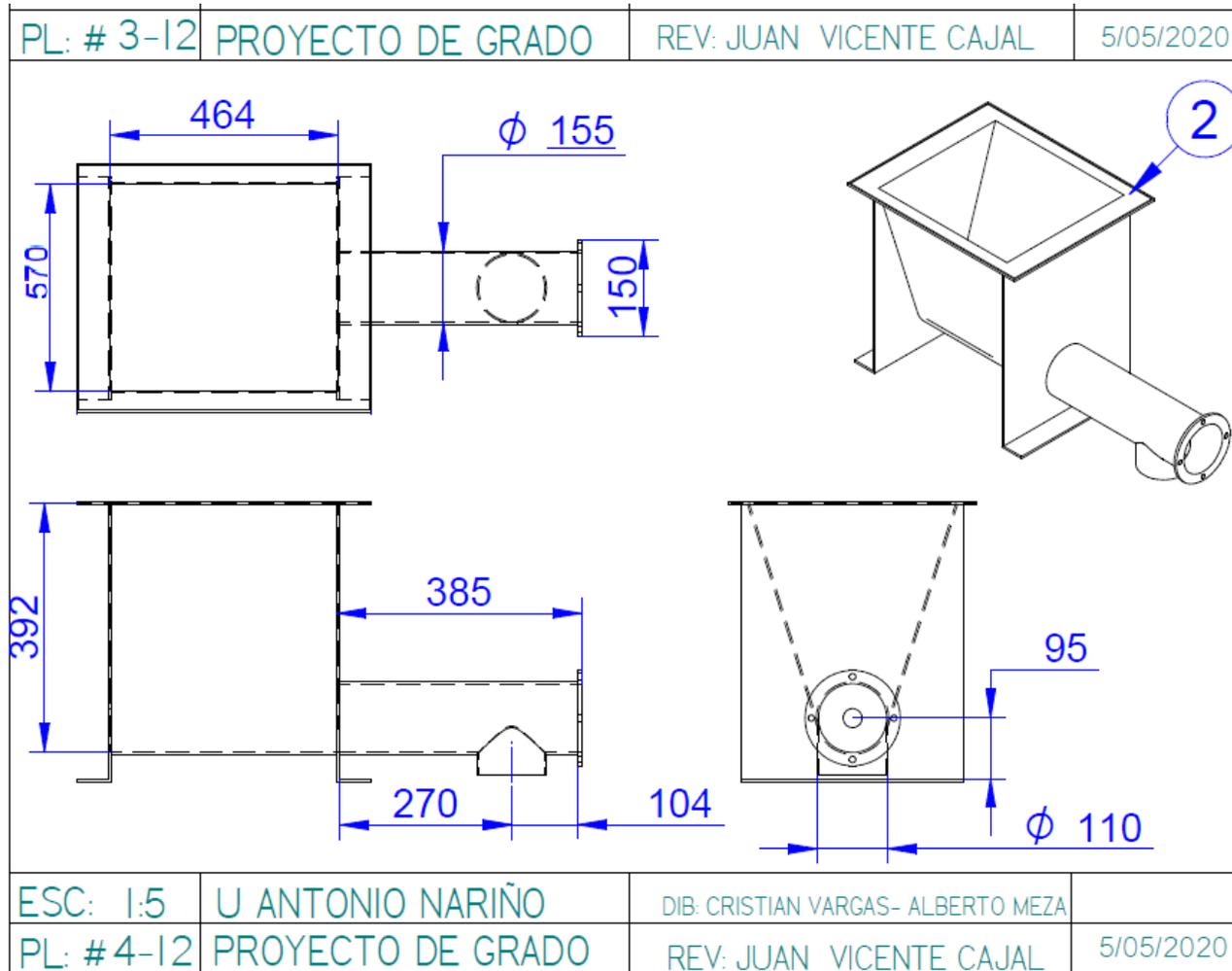
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-3. Plancha estructura base o esqueleto de molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



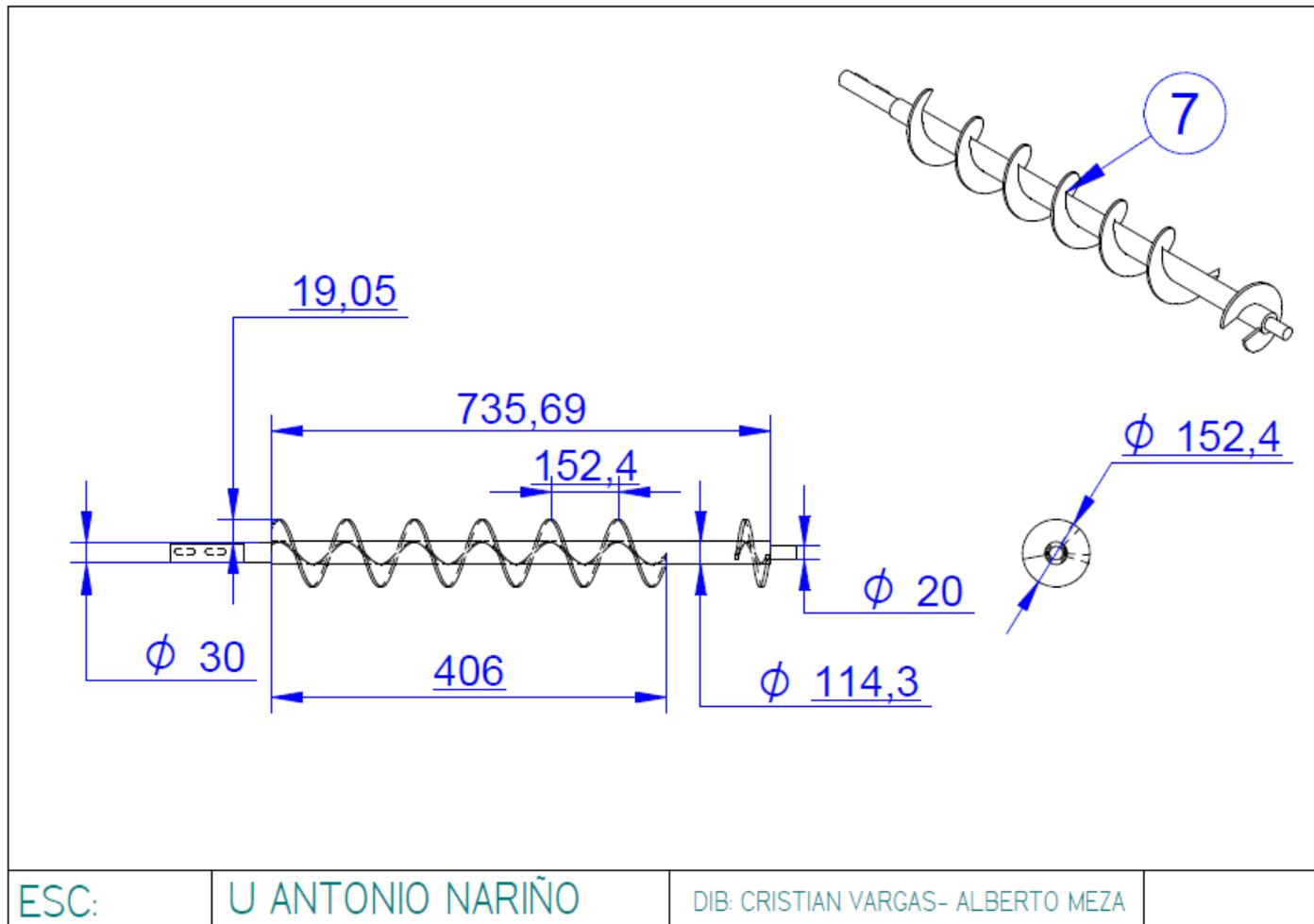
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-4. Plancha Tolva principal de recepción de materia prima. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



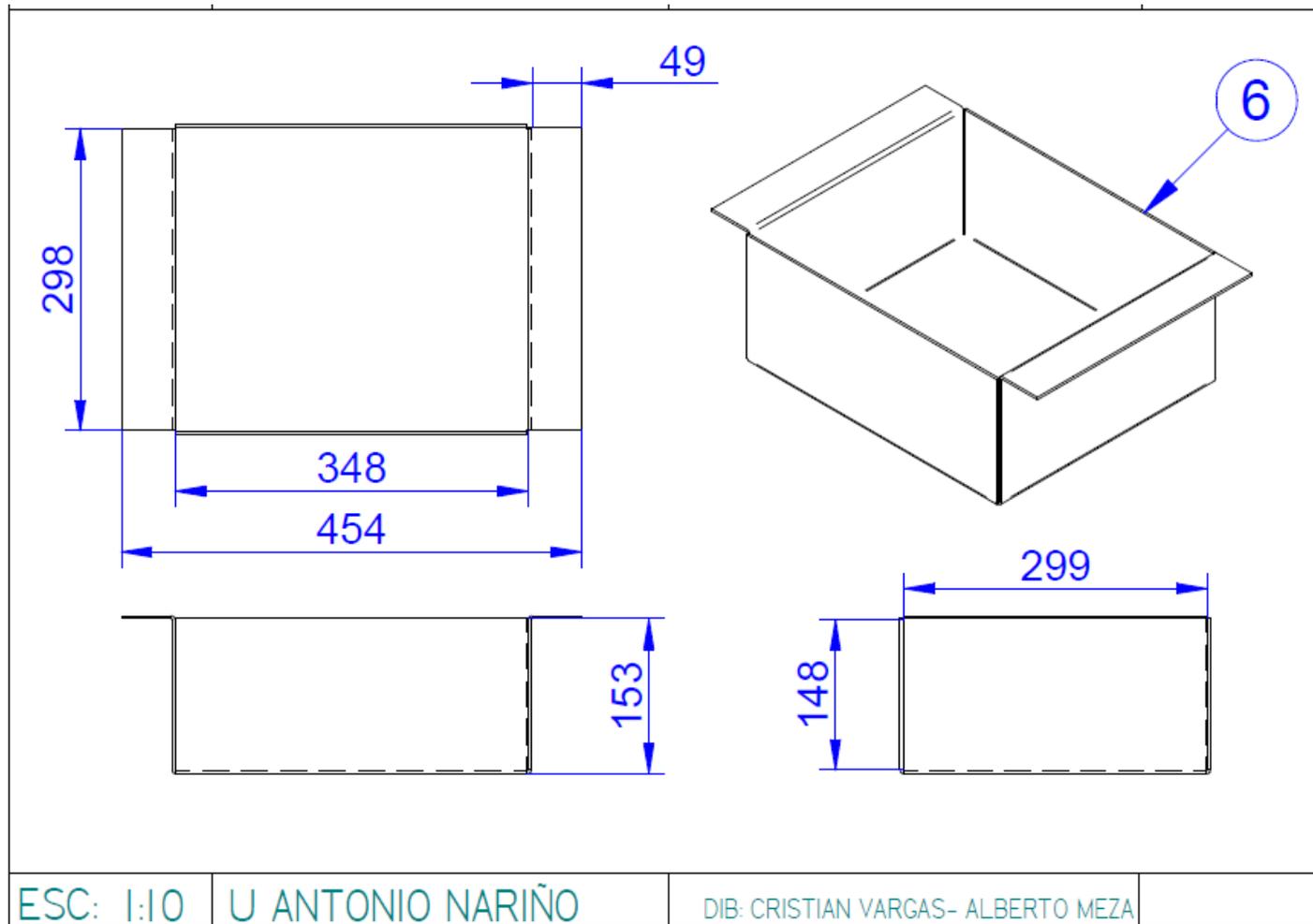
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-5. Plancha Tornillo sin fin tornillo tolva. Vista frontal, lateral, isométrica.



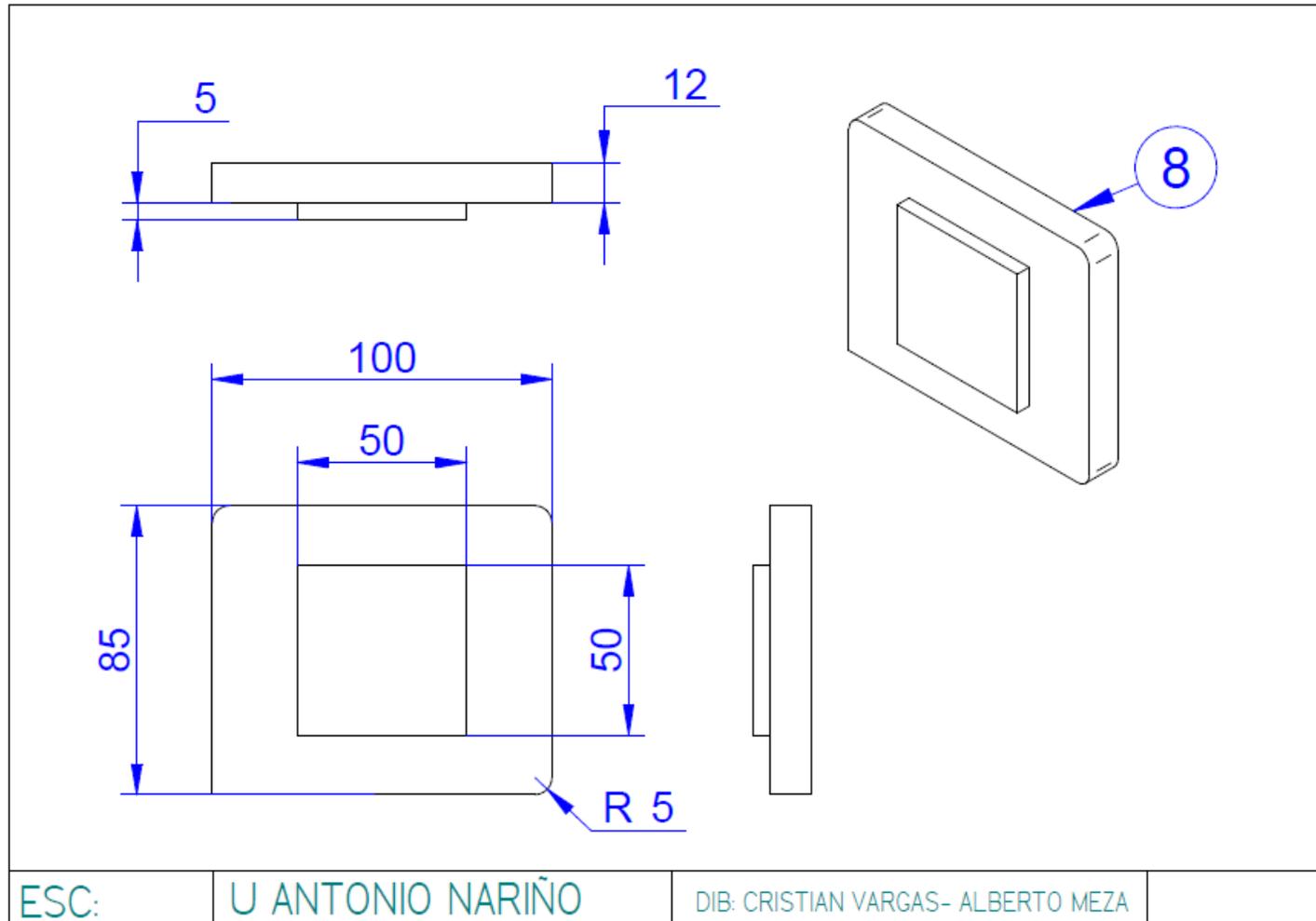
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-6. Plancha recipiente de recolección de materia procesada. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



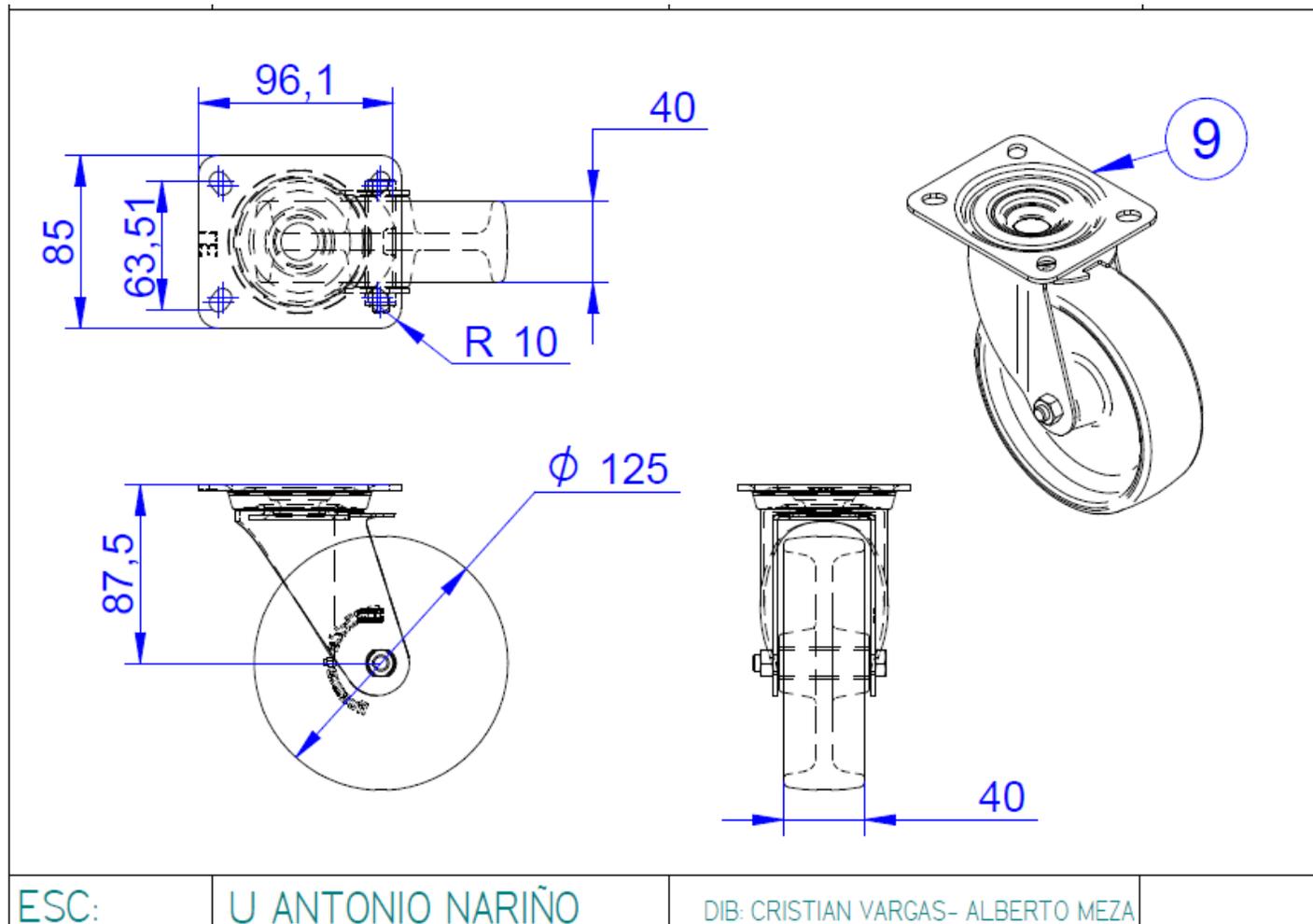
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-7. Plancha patas de la estructura. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



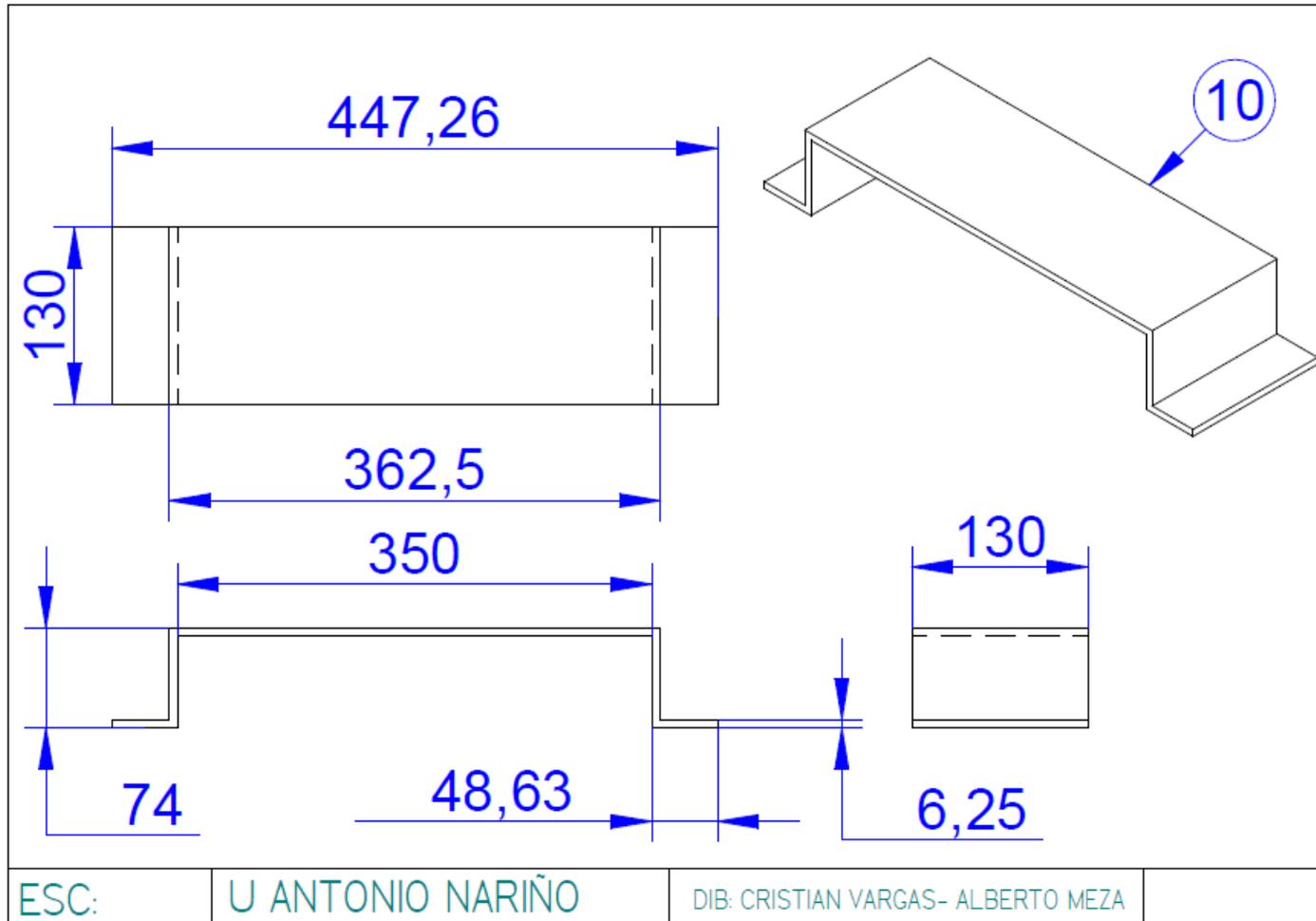
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-8. Plancha rodachines para fácil desplazamiento. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



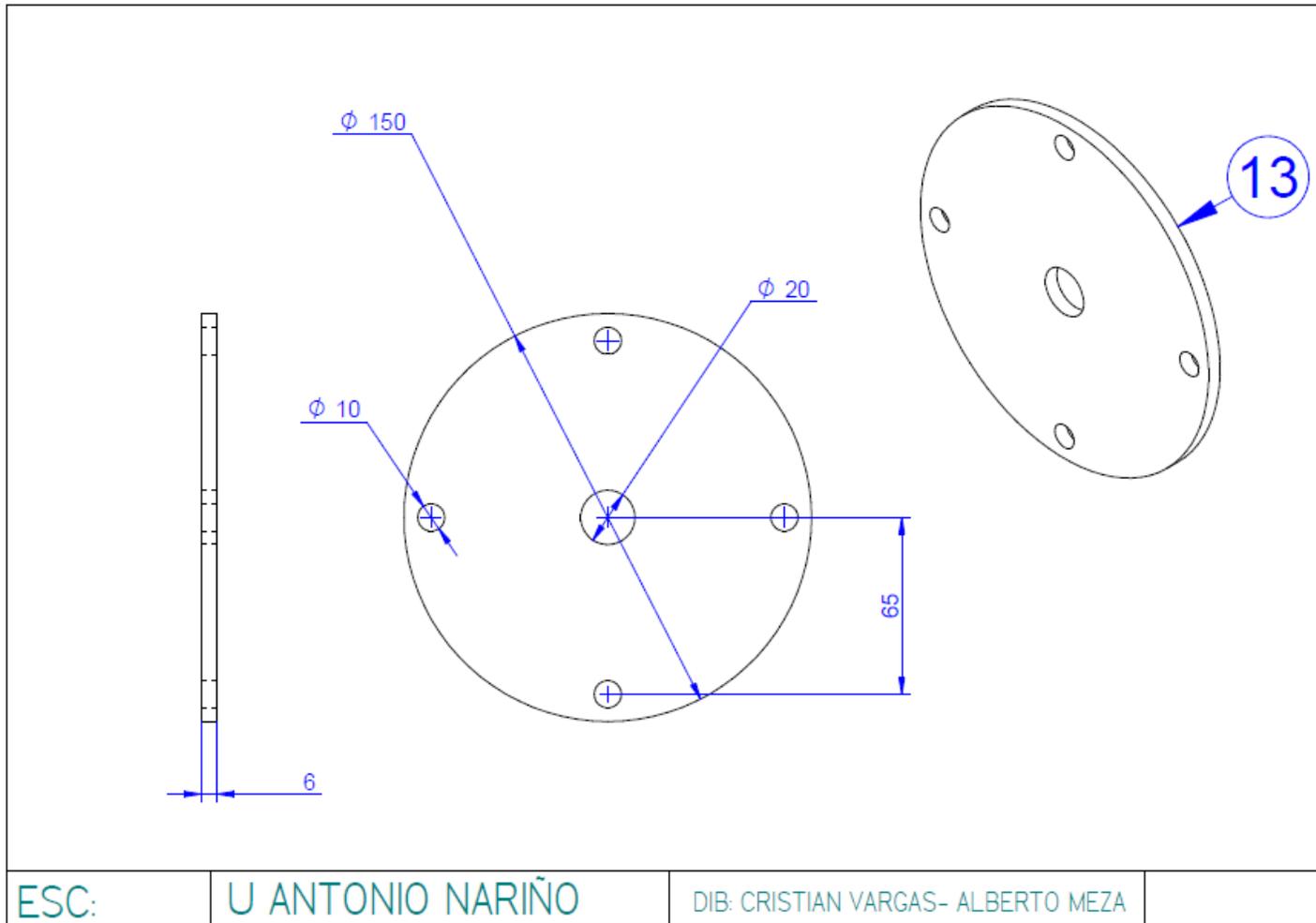
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-9. Plancha Base del motor. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



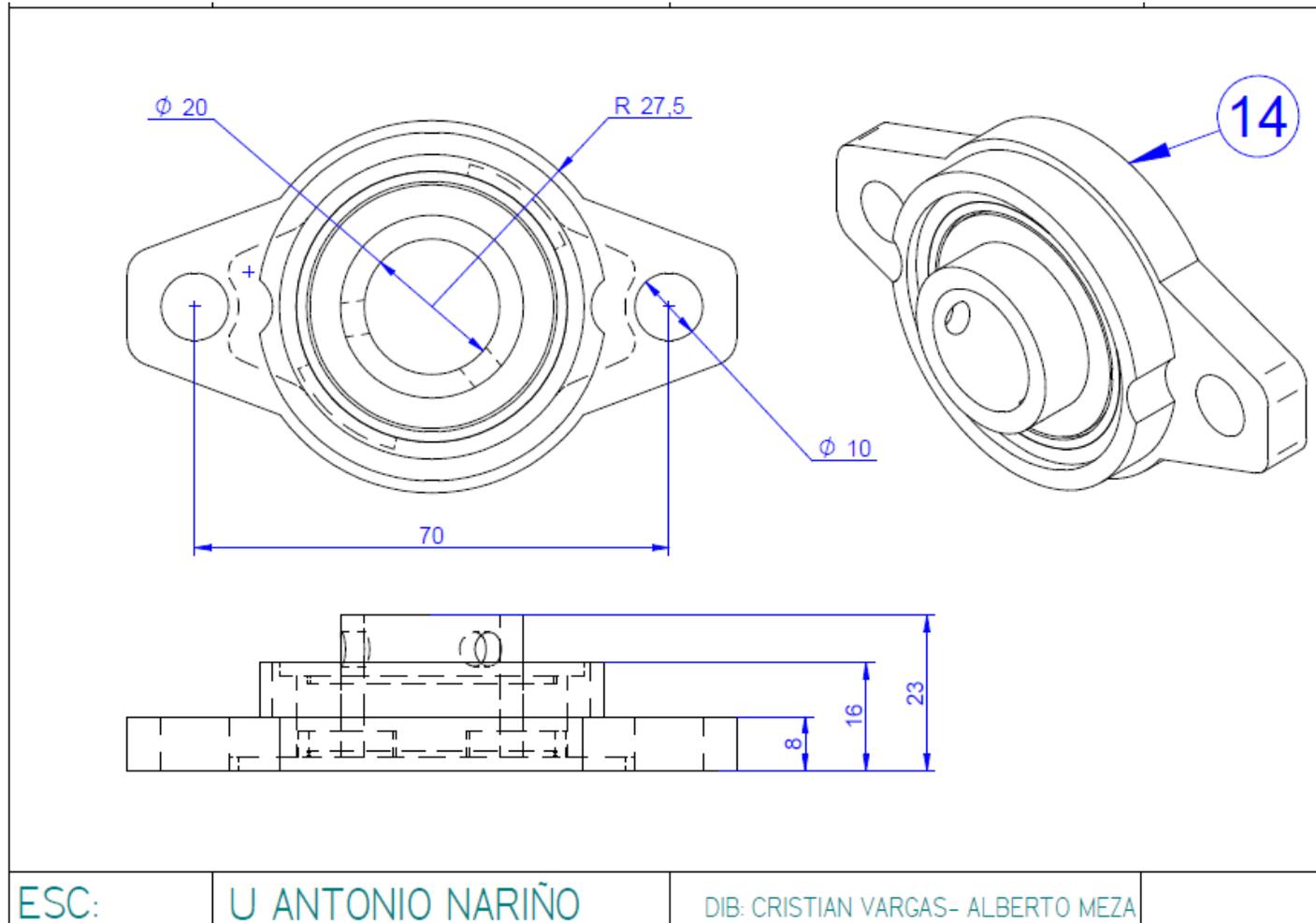
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-10. Plancha Tapa del tornillo sin fin superior. Vista frontal, lateral, isométrica.



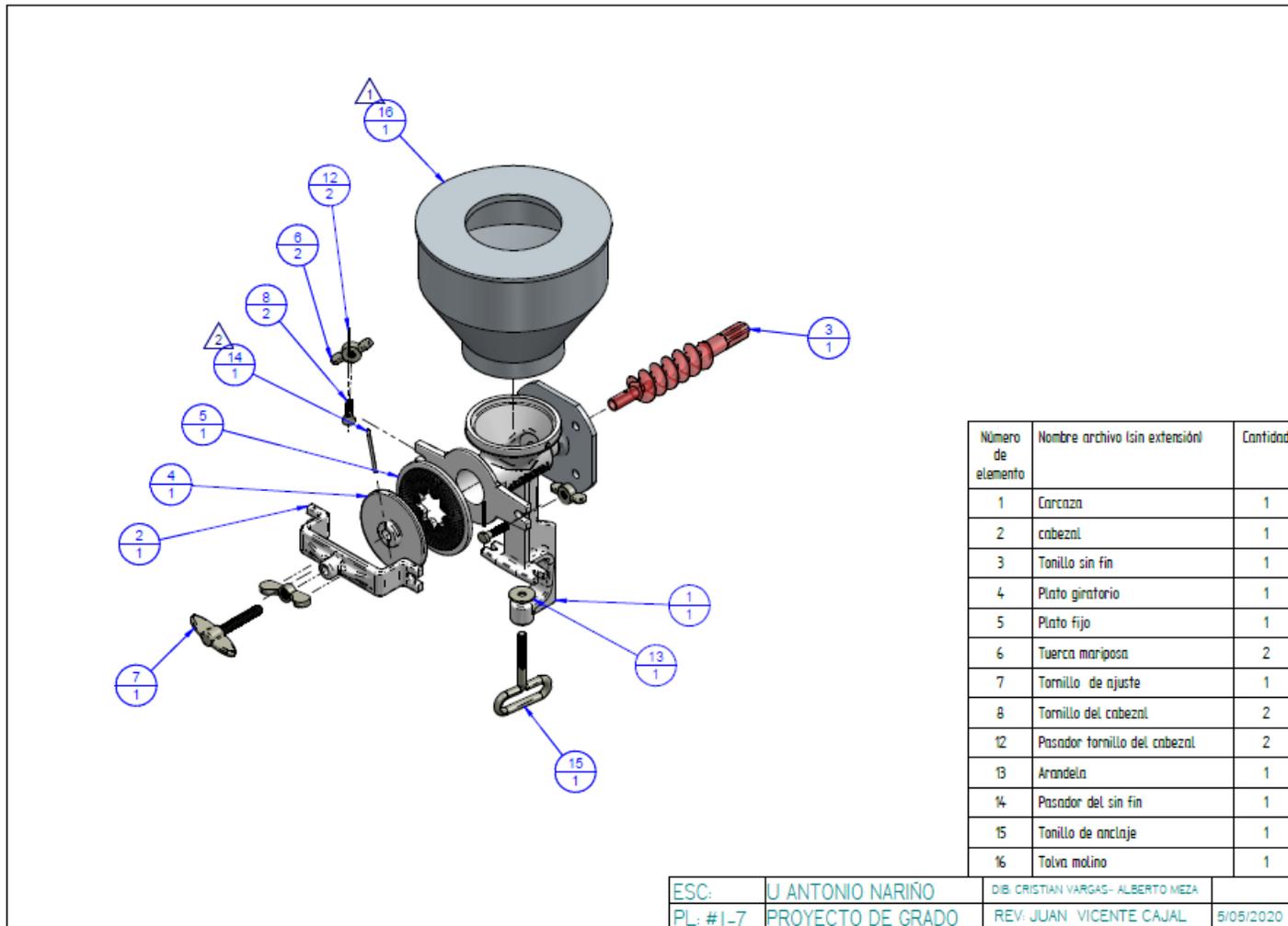
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-11. Plancha rodamiento. Vista frontal, lateral, isométrica.



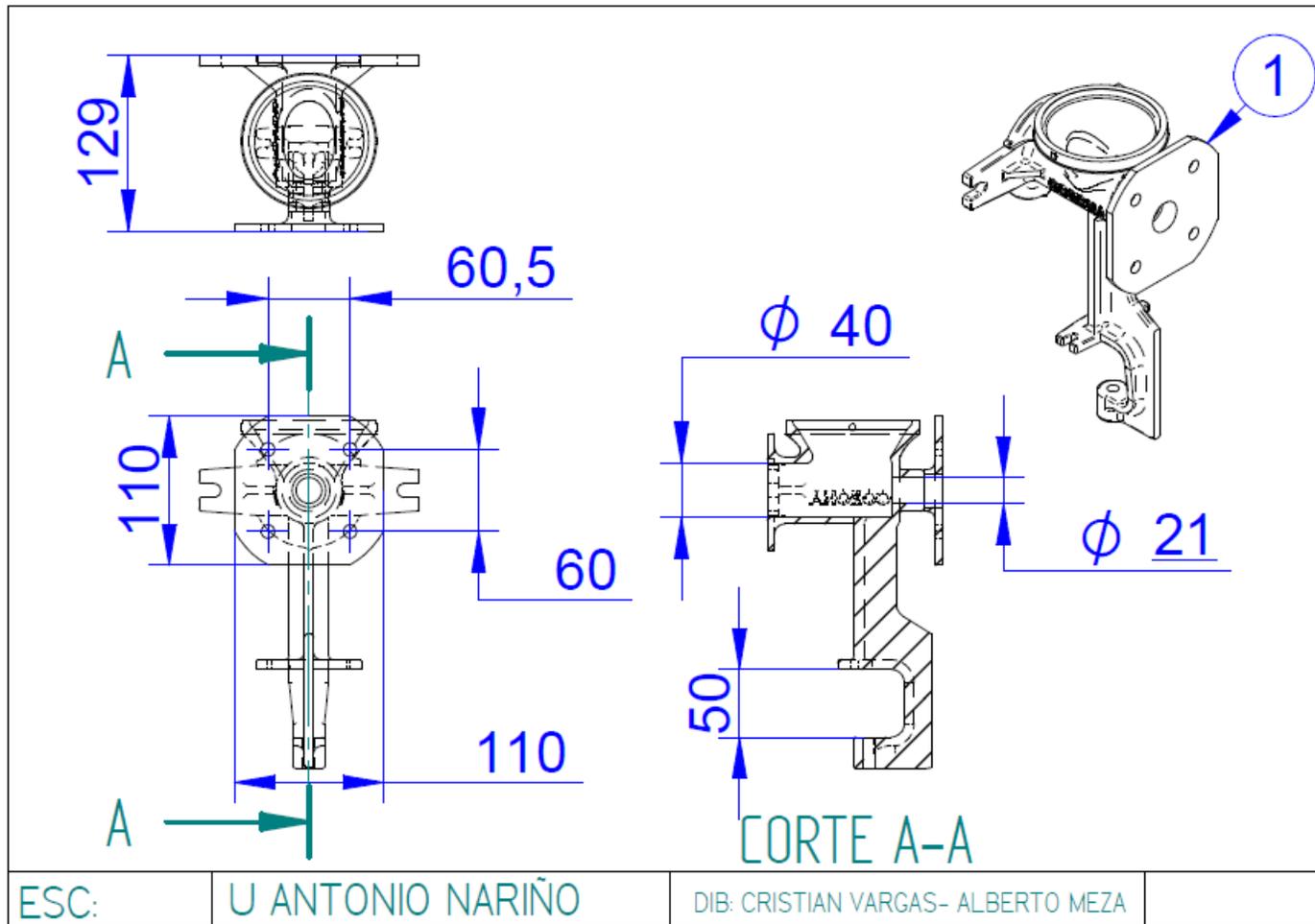
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-12. Elementos que componen el molino.



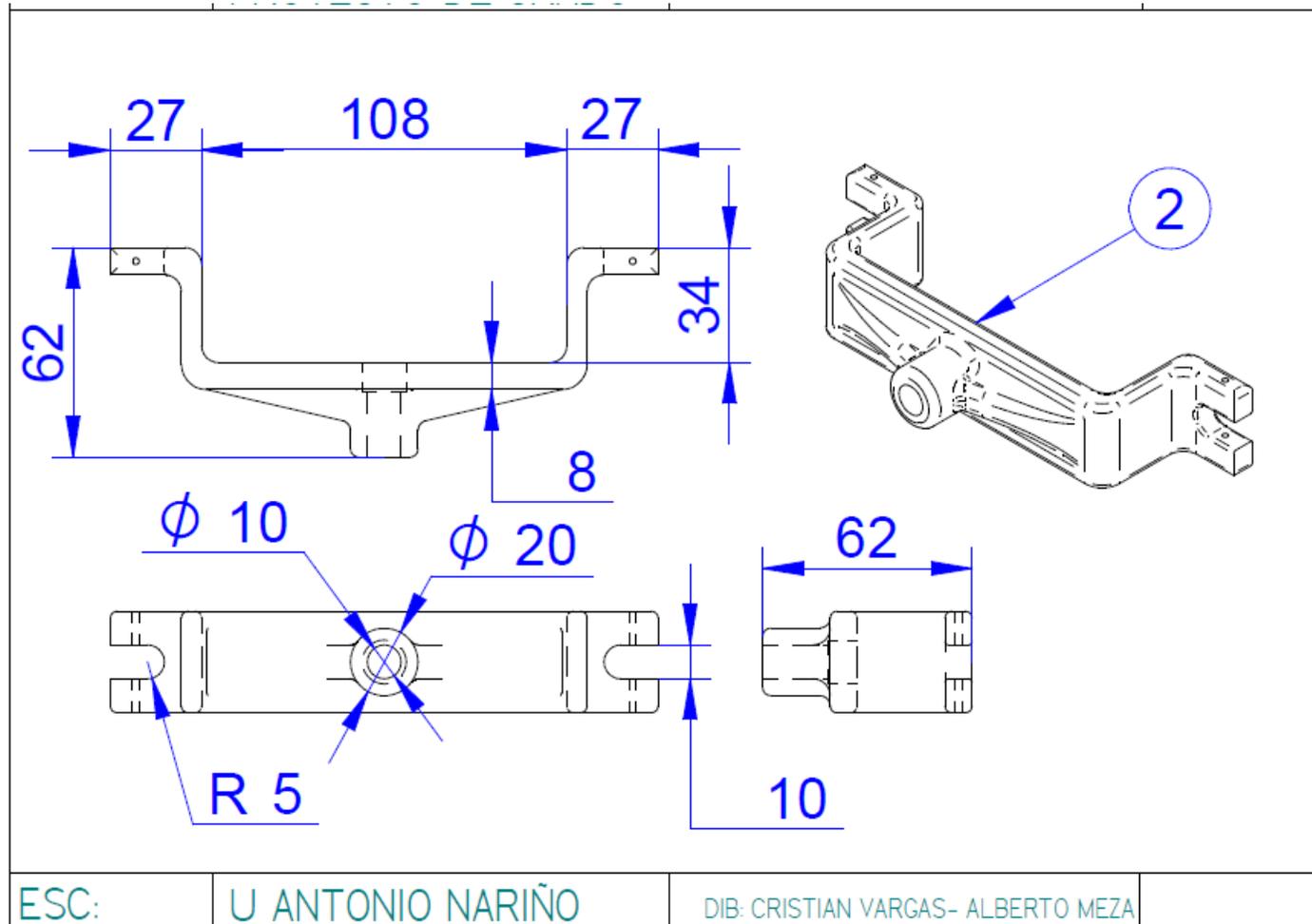
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-13. Plancha carcaza de molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



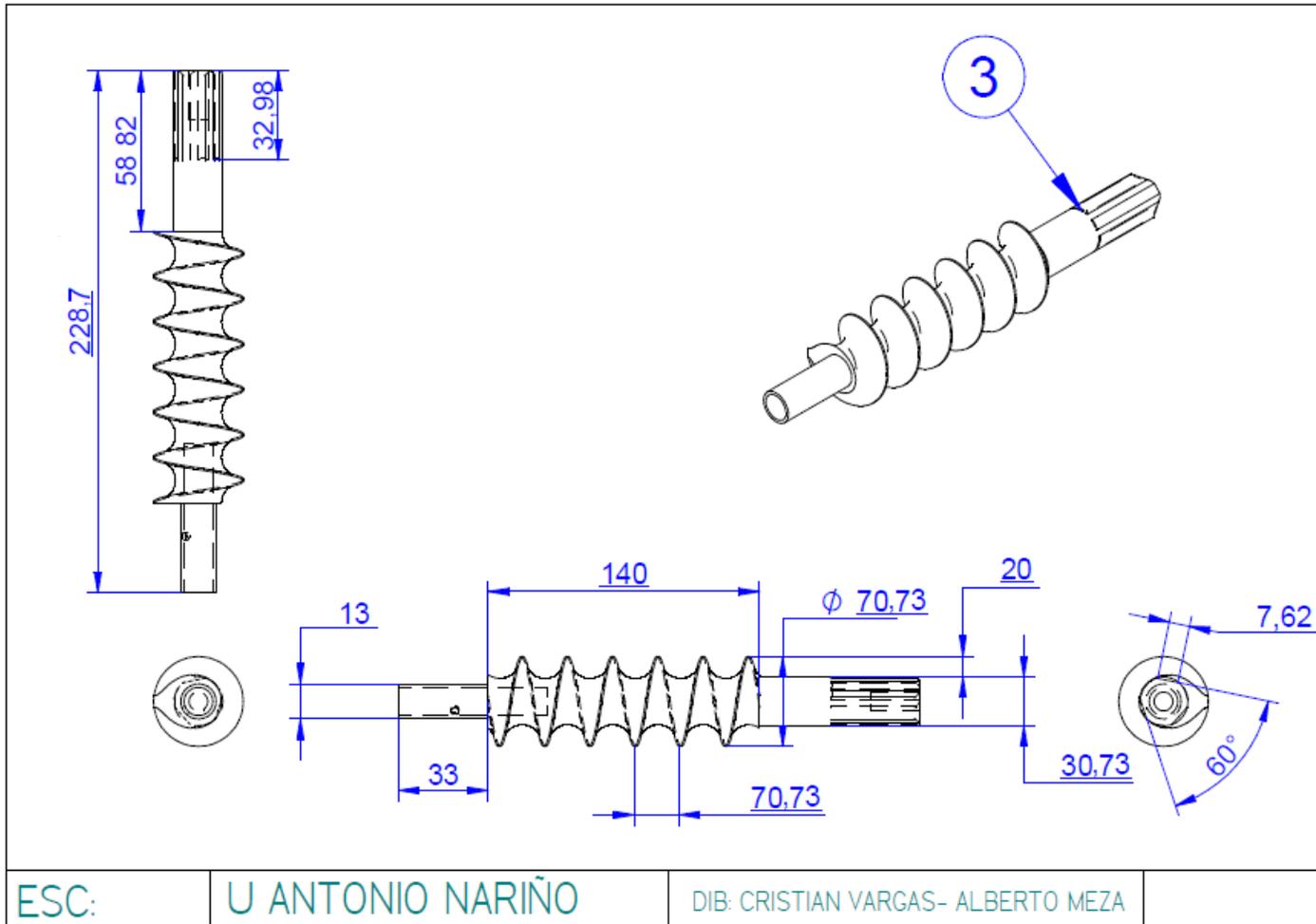
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-14. Plancha cabezal del molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



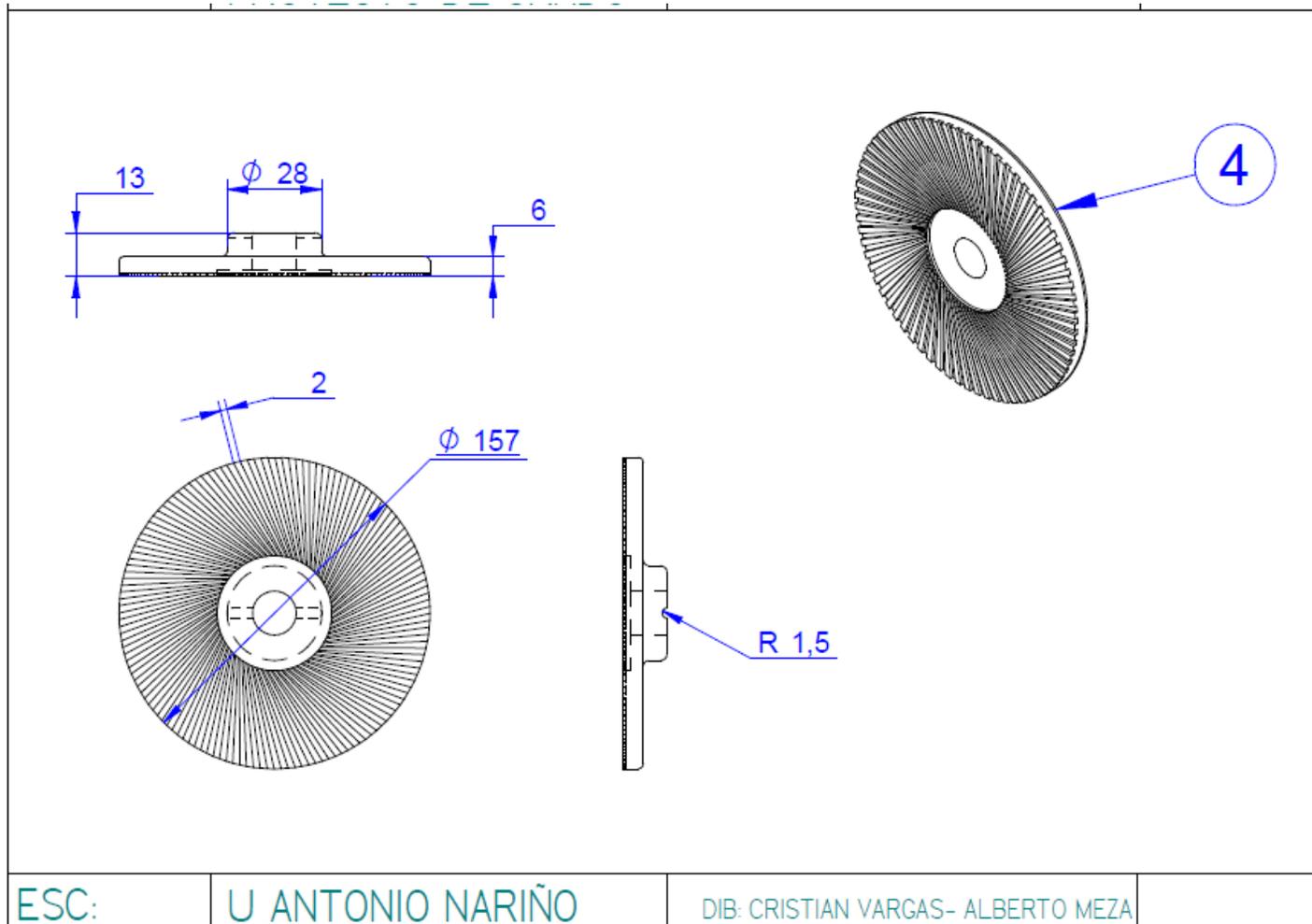
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-15. Plancha tornillo sin fin molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



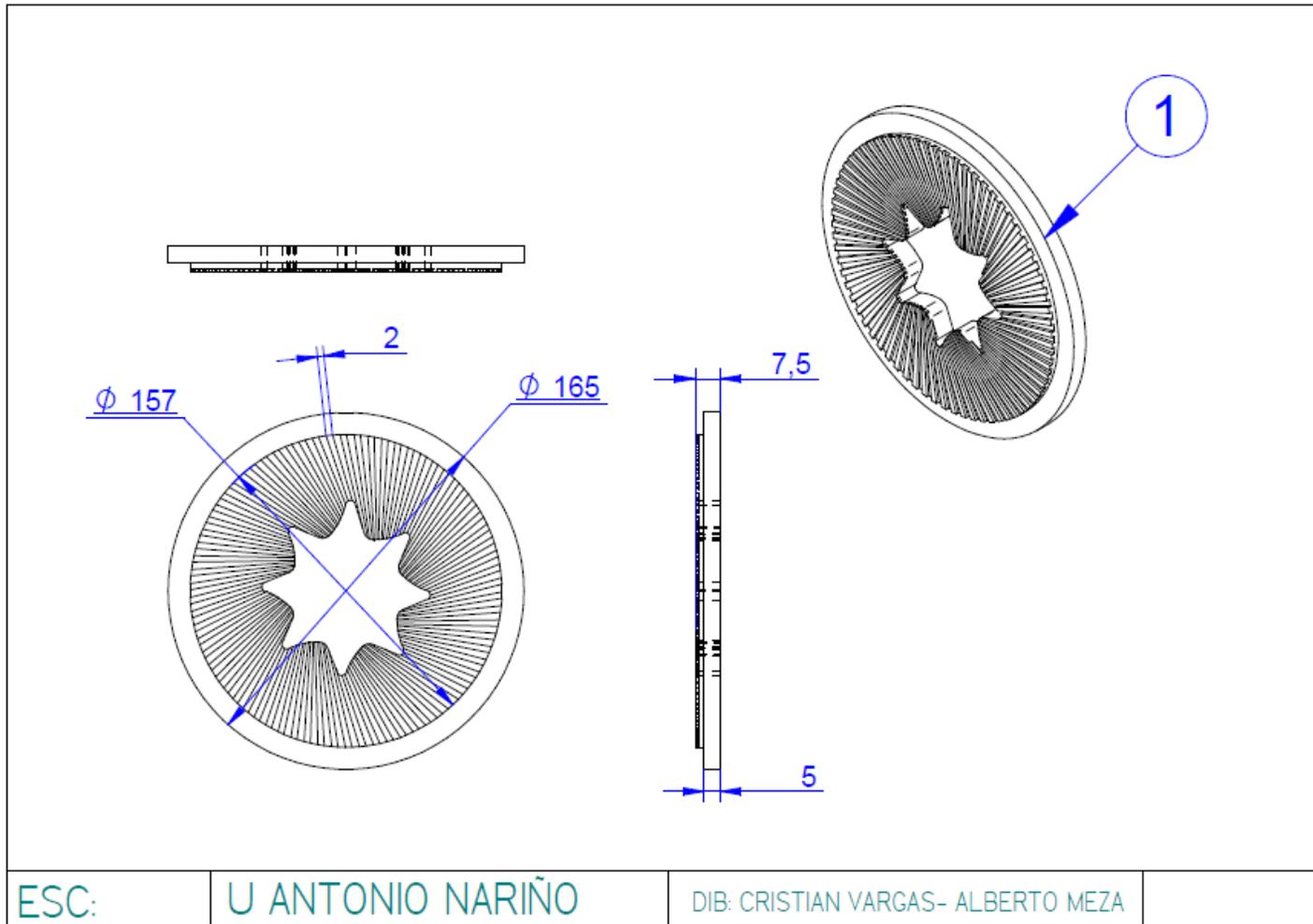
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-16. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



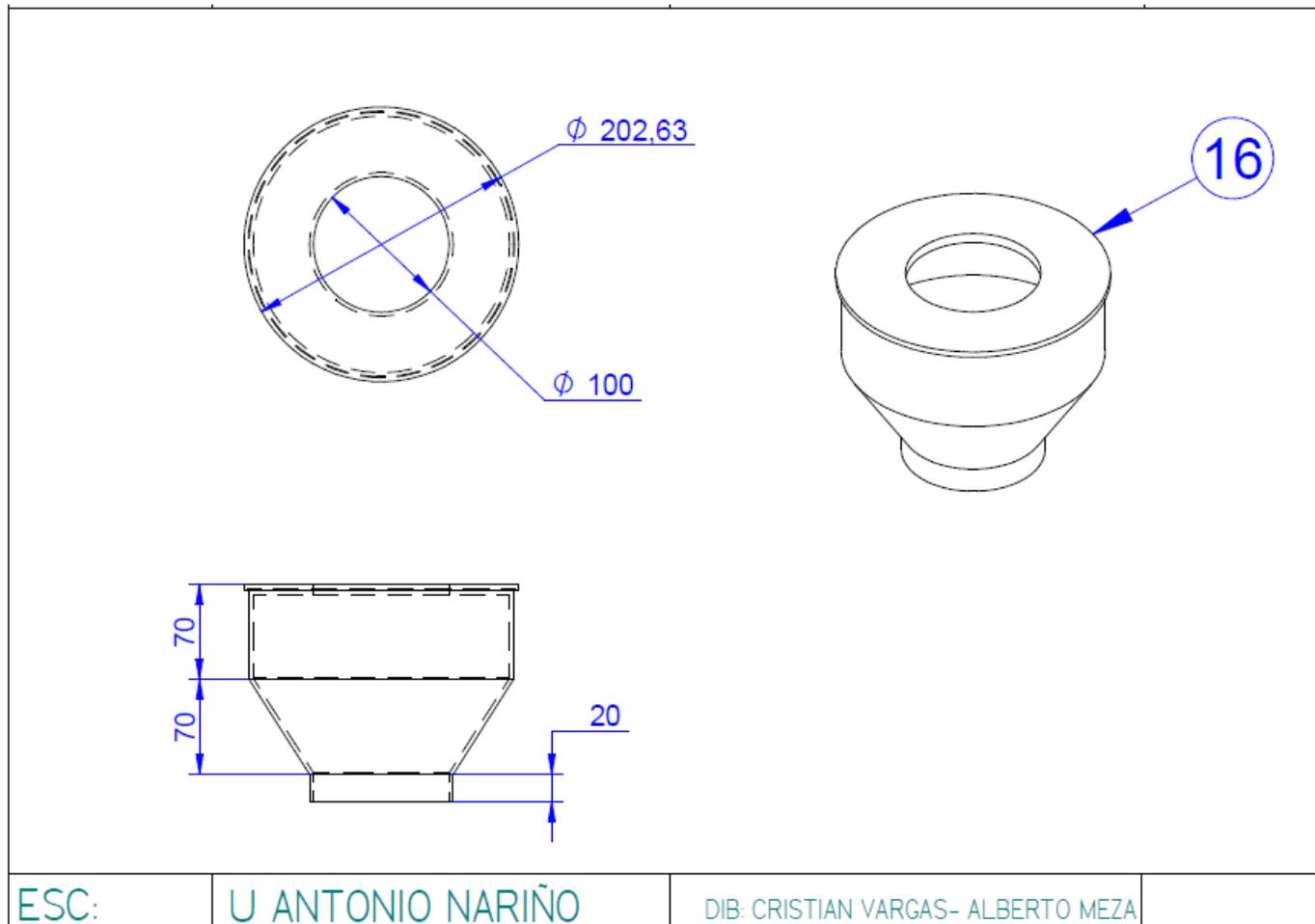
Fuente: Elaboración propia

Anexo A-17. Plancha disco móvil molino. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.



Fuente: Elaboración propia

Anexo A-18. Plancha tolva receptora. Vista frontal, superior, lateral, isométrica.

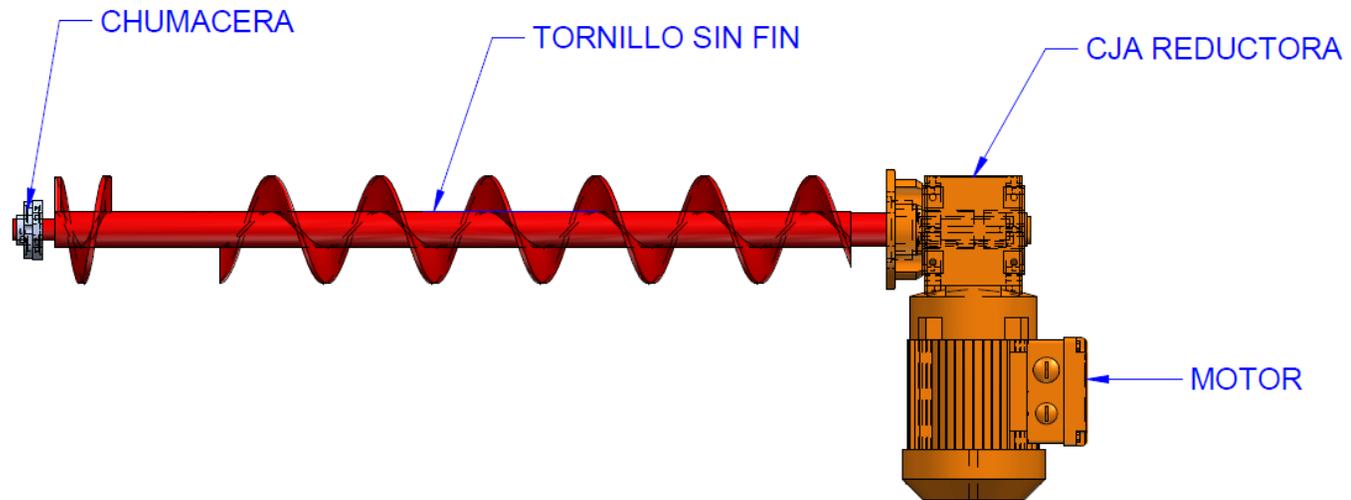


Fuente: Elaboración propia

B. Anexo: Cadena cinemática de algunas piezas

Anexo B-1. Cadena cinemática tolva.

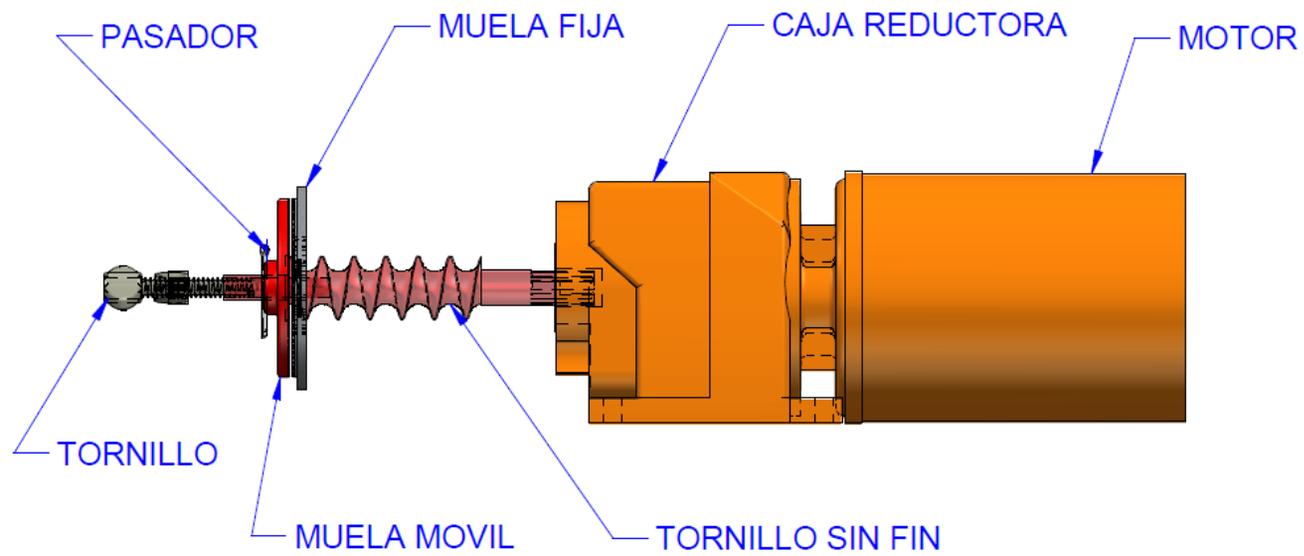
CADENA CINEMATICA TOLVA



Fuente: Elaboración propia

Anexo B-2. Cadena cinemática molino.

CADENA CINEMATICA MOLINO



Fuente: Elaboración propia

C. Anexo: Tablas de referencia para calculo y selección de tornillo de transporte

Anexo C-1. Propiedades de los materiales clasificación CEMA

Major Class	Material Characteristics Included	Code Designation
Density	Bulk density, Loose	Actual Lbs/CF
Density	Very fine No. 200 Sieve (0.0029") and under. No. 100 Sieve (0.0059") and under. No. 40 Sieve (0.016") and under	A200 A100 A40
	Fine No. 6 Sieve (0.132") and under.	B6
	Granular 1/7" and under (6 sieve to 1/2") 3" and under (1/2" to 3") 7" and under (3" to 7")	C1/2 D3 D7
	Lumpy 16" and under (0" to 16") over 16" to be especificied X = Actual Maximum Size	D16 Dx
	Irregular Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, etc.	E
Flowability	Very Free Flowing	1
	Free Flowing	2
	Average Flowability	3
	Sluggish	4
Abrasiveness	Mildly Abrasive	5
	Moderately Abrasive	6
	Extremely Abrasive	7
Others Characteristics	Builds Up and Hardens	F
	Generate Static Electricity	G
	Descomposes – Deteriorates in Storage	H
	Flammability	J
	Becomes Plastic or Tends to Soften	K
	Very Dusty	L
	Aerates and Becomes a Fluid	M
	Explosiveness	N
	Stickiness – Adhesion	O
	Contaminable, Affecting Use	P
	Degradable, Affecting Use	Q
	Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes	R
	Highly Corrosive	S
	Mildly Corrosive	T
	Higroscopic	U
	Interlocks, Mats or Agglomerates	V
	Oils Presents	W
Packs Under Pressure	X	
Very Light and Fluffy - May Be Windswept	Y	
Elevated Temperature	Z	

Fuente: Tomado de [21]

Anexo C-2. Características de los materiales

Material**	Weight lbs. Per cu. ft	Material Code	Material factor Fm	Trough Loading
Polystyrene Beads	40	B6-35PQ	0.4	30A
Polyvinyl, Chloride Powder	20-30	A100-45KT	1.0	30A
Polyvinyl, Chloride Pellets	20-30	E-45KPQT	0.6	30A
Polyethylene, Resin Pellets	30-35	C1/2-45Q	0.4	30A
Potash (Muriate) Dry	70	B6-37	2.0	15
Potash (Muriate) Mine Run	75	DX-37	2.2	15
Potassium Carbonate	51	B6-36	1.0	30B
Potassium Chloride Pellets	120-130	C1/2-25TU	1.6	45
Potassium Nitrate - 1/2"	76	C1/2-16NT]	1.2	30B
Potassium Nitrate - 1/8"	80	B6-26NT	1.2	30B
Potassium Sulfate	42-48	B6-46X	1.0	30B
Potato Flour	48	A200-35MNP	0.5	30A
Pumice - 1/8"	42-48	B6-46	1.6	30B
Pyrite, Pellets	120-130	C1/2-26	2.0	30B
Quartz, - 100 Mesh	70-80	A100-27	1.7	15
Quartz, - 1/2"	80-90	C1/2-27	2.0	15
Rice, Bran	20	B6-35NY	0.4	30A
Rice, Grits	42-45	B6-35P	0.4	30A
Rice, Polished	30	C1/2-15P	0.4	45
Rice, Hulled	45-49	C1/2-25P	0.4	45
Rice, Hulls	20-21	B6-35NY	0.4	30A
Rice, Rough	32-36	C1/2-35N	0.6	30A
Rosin- 1/2"	65-68	C1/2-45Q	1.5	30A
Rubber, Reclaimed Ground	23-50	C1/2-45	0.8	30A
Rubber, Pelleted	50-55	D3-45	1.5	30A
Rye	42-48	B6-15N	0.4	45
Rye Bran	15-20	B6-35Y	0.4	45
Rye Feed	33	B6-35N	0.5	30A
Rye Meal	35-40	B6-35	0.5	30A
Rye Middlings	42	B6-35	0.5	30A
Rye, Shorts	32-33	C1/2-35	0.5	30A
Safflower, Cake	50	D3-26	0.6	30B
Safflower, Meal	50	B6-35	0.6	30A
Safflower Seed	45	B6-15N	0.4	45
Saffron (see Safflower)	-	-	-	-
Sal Ammoniac (Ammonium Chloride)	-	-	-	-
Salt Cake, Dry Coarse	85	B6-36TU	2.1	30B
Salt cake, Dry Sinterized	65-85	B6-36TU	1.7	30B
Salicylic Acid	29	B6-37U	0.6	15
Salt, Dry Coarse	45-60	C1/2-36TU	1.0	30B
Salt, Dry Fine	70-80	B6-36TU	1.7	30B
Saltpeter (see Potassium Nitrate)	-	-	-	-
Sand Dry Bank (Damp)	110-130	B6-47	2.8	15
Sand Dry Bank (Dry)	90-110	B6-37	1.7	15

Fuente: Tomado de [21]

Anexo C-3. Selección del factor relativo al paso del tornillo

PASO	DESCRIPCIÓN	CF₁
Estándar	Paso = Diámetro del tornillo	1.00
Corto	Paso = 2/3 (Diámetro del tornillo)	1.50
Medio	Paso = 1/2 (Diámetro del tornillo)	2.00
Largo	Paso = 1 1/2 (Diámetro del tornillo)	0.67

Anexo C-4. Selección del factor de capacidad relativo al tipo de hélice

TIPO DE HÉLICE	15%	30%	45%
Cortada	1.95	1.57	1.43
Cortada y Doblada	No recomendada	3.75	2.54
Ribbon	1.04	1.37	1.62

Fuente: Tomado de [21]

Anexo C-5. Capacidad por revolución

CARGA	DIÁM. TORNILLO PULGADAS	Pie ³ /hr (full pitch)		MÁXIMAS r.p.m.
		UNA r.p.m.	MAX r.p.m.	
30% B (30B)	4	0.41	29	72
	6	1.49	90	60
	9	5.45	300	55
	10	7.57	418	55
	12	12.90	645	50
	14	20.8	1040	50
	16	31.2	1400	45
	18	45.0	2025	45
	20	62.8	2500	40
	24	109.0	4360	40
30	216.0	7560	35	

Anexo C-6. Máximo tamaño de grano equivalente

MÁXIMO TAMAÑO DE GRANO**				
Diámetro del tornillo* (pulg.)	Claro radial pulg.	Clase I 10% de granos	Clase II 25% de granos	Clase III 95% de granos
6	2 5/16	1 1/4	3/4	1/2
9	3 3/16	2 1/4	1 1/2	3/4
9	3 9/16	2 1/4	1 1/2	3/4

Fuente: Tomado de [21]

Anexo C-7. Selección de factor de diámetro del transportador

Diámetro (pulg)	Factor (Fd)	Diámetro (pulg)	Factor (Fd)
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

Anexo C-8. Factor para el porcentaje de carga relativo al tipo de hélice

TIPO DE HÉLICE	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.00	1.00	1.00	1.00
Cortada	1.10	1.15	1.20	1.30
Cortada y Doblada	No recomendada	1.50	1.70	2.20
Ribbon	1.05	1.14	1.20	—

Anexo C-9. Eficiencia motriz

Screw driver or Shaft mount W/ V-Belt drive	V-Belt to helical gear and coupling	Gearmotor w/ coupling	Gearmotor w/ chain drive	Worm Gear
0.88	0.87	0.95	0.87	Manufacturer

Fuente: Tomado de [21]

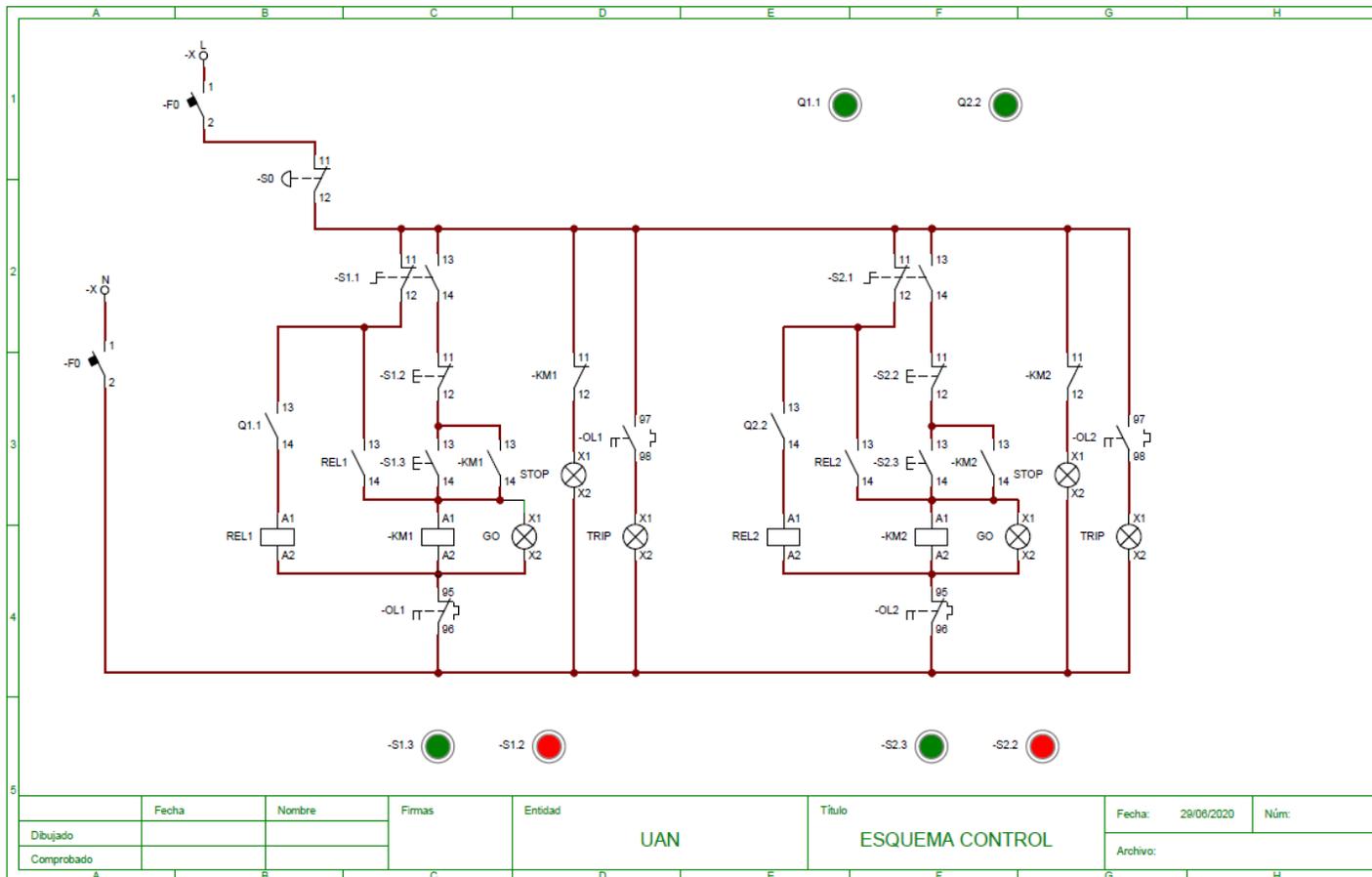
Anexo C-10. Densidad de los granos

DENSIDAD APARENTE	
PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	DENSIDAD (kg/m3)
Alfalfa, granos	750 - 800
Algodón, granos con su fibra	420
Algodón, granos no apretados	100 - 120
Arroz cáscara	500 - 630
Arroz, gavillas	80- 120
Arroz blanqueado	800 - 850
Arroz de embarque (descascarado)	700 - 750
Avena	500 - 540
Cacahuete con cáscara para aceite	370 - 400
Cacahuete sin cáscara	600 - 620
Cacahuete con cáscara para consumo directo	270 - 300
Cacao (granos frescos)	900
Cacao (granos fermentados)	775
Cacao (granos secos)	635
Café (granos frescos)	620
Café comercial	715
Café (granos secos)	450
Cebada	550 - 690
Frijoles o habichuelas, granos	750 - 850
Guisantes	800- 880
Lino	600- 680
Maiz, granos	700- 820
Maiz, mazorcas peladas	450
Malta	530- 600
Mijo	700
Soja, granos	720 - 800
Sorgo, granos	670 - 760
Trigo	750 - 840
Harina	500 - 800

Fuente: Tomado de [29]

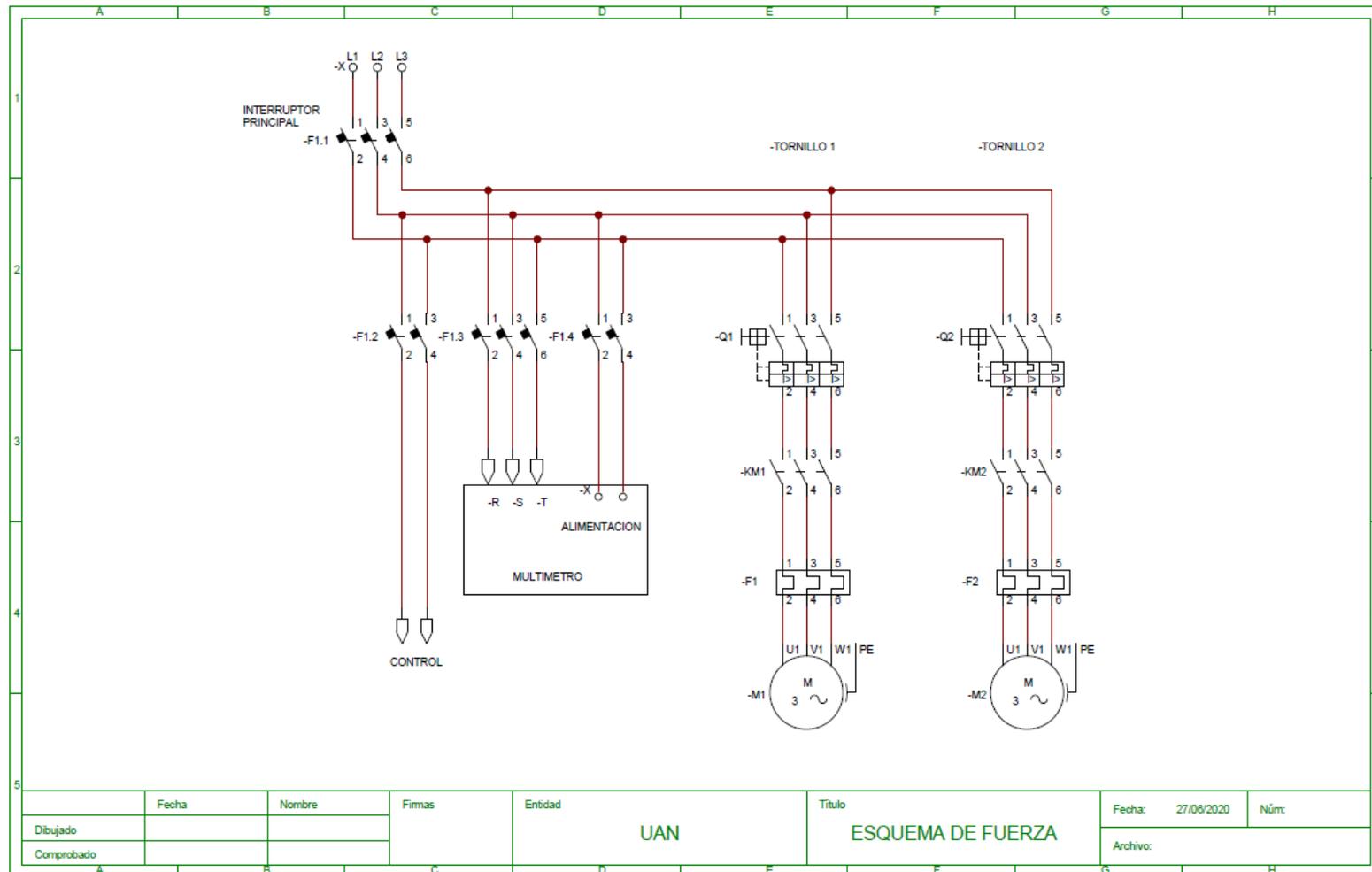
D. Anexo: Planos eléctricos

Anexo D-1. Esquema eléctrico de control



Fuente: Elaboración propia

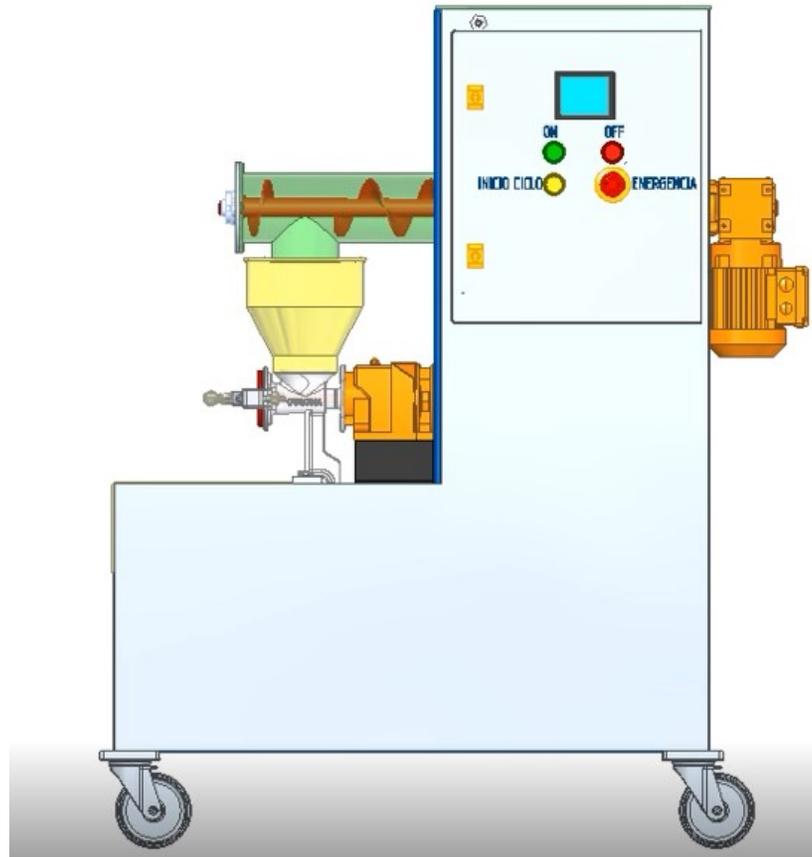
Anexo D-2. Esquema eléctrico de fuerza



Fuente: Elaboración propia

E. Anexo: Molino ensamblado

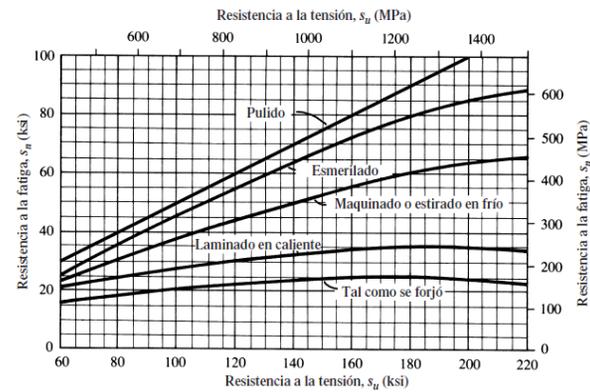
Anexo E-1: Presentación de molino compacto con transmisión interna.



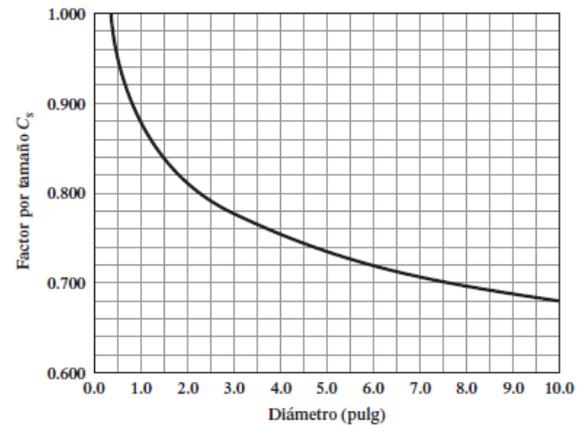
Fuente: Elaboración propia

F. Anexo: Tablas de referencia para diseño y selección del eje

Anexo F-1: Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión.



Anexo F-2: Selección de factor por tamaño.



Fuente: [13]

Anexo F-3: Factores de confiabilidad aproximados.

TABLA 5-1
Factores de confiabilidad aproximados C_R

Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Anexo F-4: Propiedades de diseño para aceros inoxidables.

Designación del material			Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Elongación (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS	Condición	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
310	S31000	Recocido	95	655	45	310	45
316	S31600	Recocido	80	552	30	207	60
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25
Aceros martensíticos							
410	S41000	Recocido	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
Aceros endurecidos por precipitación							
17-4PH	S17400	H 900	200	1380	185	1280	14
		H 1150	145	1000	125	862	19
17-7PH	S17700	RH 950	200	1380	175	1210	10
		TH 1050	175	1210	155	1070	12

Fuente: [13]

G. Anexo: Mantenimiento

Anexo G-1: Formato mantenimiento molino compacto con transmisión interna para granos secos.

	Mantenimiento molino compacto con transmisión interna para granos secos																														Acción a realizar cada:		Observaciones				
	Semanas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		SEMANAS	MESES		
	Meses																																				
1 Estructura externa	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	1			
2 Conexiones electricas externas	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1		
3 Piezas externas	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1			
4 Sensores de nivel	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	1			
5 Componentes mecanicos				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A							1		
6 Piezas moviles				A/L				A/L				A/L				A/L				A/L				A/L				A/L							1		
7 Nivel de maquina				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A				V/A							1		
8 Grasa rodamiento												R															R								3		
9 Estructura interna												W															W									3	
10 Conexiones electricas internas												V/R															V/R									3	
11 Tornillo sin fin												V/R															V/R									3	
12 Discos de molenda												V/R															V/R									3	
13																																					
14																																					
15																																					
16																																					
CONVENCIONES																																					
V	VERIFICAR																																				
A	AJUSTAR																																				
R	REEMPLAZAR																																				
L	LUBRICAR																																				
W	LIMPIAR																																				

Fuente: Elaboración pro

Bibliografía

- [1] M. Lopez y O. Seniterra, «Respositorio institucional de la Universidad de Guayaquil,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://186.101.98.14/bitstream/redug/2000/1/1052.pdf>.
- [2] S. E. M. Larota, «slideshare,» 19 12 2016. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/SimonEduardoMamaniLa/apuntes-de-molienda>.
- [3] E. Melo Cruz, «<https://es.slideshare.net/>,» 13 Febrero 2016. [En línea]. Available: es.slideshare.net/FanychanCosplayer/molienda-58229503.
- [4] W. L. McCabe, Operaciones unitarias en Ingenieria quimica, Mexico: McGraw-Hill, 2007.
- [5] J. B. N. C. J.G. Brenna, Las operaciones de la ingenieria de los alimentos 3a Ed., Zaragoza: Aspen Publishers Inc, 1998.
- [6] S. Hall. A, A. R. Halowenco y H. G. Laughlin, Diseño de elementos de maquinas, Mexico: Mc- Graw Hill, 1971.
- [7] D. Prieto, «www.Grabcad.com,» 3 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/molino-de-rulos-1>.
- [8] s. JA, «<https://distribucionesjaonline.com/>,» 2019. [En línea]. Available: <https://distribucionesjaonline.com/password>.
- [9] T. Fuller, «<http://informacionmetalurgiaextractiva.blogspot.com/>,» 14 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://informacionmetalurgiaextractiva.blogspot.com/2016/11/molienda.html>.
- [10] Metallurgist, «<https://www.911metallurgist.com/>,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.911metallurgist.com/equipment/small-grinding-mill/>.

- [11] D. Cesar y J. Aguirre, «<https://repositorio.upct.es/>,» 18 Junio 2013. [En línea]. Available: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3356/pfc5100.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [12] S. Celis, «<https://www.engormix.com/>,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/sistema-molienda-con-molino-t40415.htm>.
- [13] R. L. Mott, *Diseño de elementos de maquinas*, Mexico: Pearson, 2006.
- [14] J. R. Sanz, «Transporte de la pulpa de café a los procesadores mediante tornillos sin fin,» *Cenicafe-Fedecafe*, p. 2, 1996.
- [15] J. Martin Galindo, «<https://sierradegatadigital.opennemas.com/>,» 28 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://sierradegatadigital.opennemas.com/articulo/cultura/pedra-du-moiru-molino-celta/20151027211747019310.html>.
- [16] C. De Mallorca, «<https://web.conselldemallorca.cat/>,» 2020. [En línea]. Available: <https://web.conselldemallorca.cat/es/-/molins-de-sang>.
- [17] I. Madrid Quintero, «[fcalapurisima](http://fcalapurisima.com/),» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fcalapurisima.com/p/historia-de-la-molineria.html>.
- [18] Marcus, «[electricaherramienta.blogspot](http://electricaherramienta.blogspot.com/),» 28 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://electricaherramienta.blogspot.com/2016/02/molino-de-rodillos-pdf.html>.
- [19] S. Pita y S. Pertegas, «Investigacion cuantitativa y cualitativa,» 27 Mayo 2002. [En línea]. Available: https://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/cuanti_cuali2.pdf.
- [20] L. Targhetta Arriola, *Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria basica*, Madrid: Blume, 1970.
- [21] H. E. Maury, «Tornillos transportadores, modulo II,» de *Seleccion, diseño, instalacion y mantenimiento de sistemas de transporte al granel*, Barranquilla., 1996.
- [22] E. Cabrales y M. Julio, «Diseño, construccion y montaje de un molino de discos por friccion para sales,» Cartagena, 1999.
- [23] geremiaredutores, «[geremiaredutores](http://www.geremiaredutores.com.br/),» 2015. [En línea]. Available: http://www.geremiaredutores.com.br/arquivos/catalogos/catalogo-introducao_50.pdf.

- [24] c. NTN, «<http://grupodoyma.com/>,» 2009. [En línea]. Available: <http://grupodoyma.com/catalogos-web/NTN-CHUMACERAS.pdf>.
- [25] L. INASEL Cia., «Inaseculador,» 2015. [En línea]. Available: http://www.inaselecuador.com/productos/simatic_s7/.
- [26] N. Dades, «<https://www.academia.edu/>,» 2011. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/23589853/DATOS_MOTORES_EL%C3%89CTRICOS_DE_INDUCCI%C3%93N.
- [27] E. Schneider, «<https://www.se.com/>,» 2020. [En línea]. Available: [se.com/co/es/product/LC1K0610B7/contactor-tesys-lc1-k-3p-ac-3-440-v-6-a-bobina-24-v-ca/](https://www.se.com/co/es/product/LC1K0610B7/contactor-tesys-lc1-k-3p-ac-3-440-v-6-a-bobina-24-v-ca/).
- [28] E. Schneider, «Catalogo Tesys de arranque motor hasta 150 Amp,» 2008. [En línea]. Available: https://www.se.com/ww/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/29000/FA29117/es_ES/Catalogo%202008%20TeSys%20de%20arranque%20Motor%20hasta%20150%20Amp%20Capitulo%203%20-%20Reles%20de%20proteccion%20termica%20TeSys%20d.pdf.
- [29] J. L. Martin Galindo, «sierradegatadigital,» 28 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://sierradegatadigital.opennemas.com/articulo/cultura/pedra-du-moiru-molino-celta/20151027211747019310.html>.
- [30] p. y. c. I. Consell de Mallorca. Departamento de cultura, «Consell de Mallorca,» 2019. [En línea]. Available: <https://web.conselldemallorca.cat/es/-/molins-de-sang>.
- [31] I. M. Quintero, «fcalapurisima,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.fcalapurisima.com/p/historia-de-la-molineria.html>.
- [32] FMB, «trituradoras de roca,» 2014. [En línea]. Available: <http://trituradoras-de-roca.com/noticias/1493.html>.
- [33] STX, «Interempresas,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.interempresas.net/Reciclaje/FeriaVirtual/Producto-Trituradores-mono-eje-reforzados-Forrec-XK-165458.html>.
- [34] C. DNP, «Plan Estratégico del Programa Nacional de desarrollo tecnológico Industrial y Calidad,» *Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad*, 2000-2010.
- [35] F.-R. y. Sanchez, Eficacia organizacional, Madrid: Diaz de Santos S.A., 1997.

- [36] U. d. Cantabria, Maquinas y mecanismos, Cantabria, 2019.
- [37] D. M. Balcazar y D. J. Guamba, Diseño de un triturador de Cacao, Quito, 2009.
- [38] A. n. constituyente, *Constitucion politica de Colombia*, 1991.
- [39] R. Gutierrez Olivar, «Solid Edge v18. Guia de referencia,» 2006. [En línea]. Available: http://www.sucarga.cl/grafica/solid_edge%20v18.pdf.
- [40] L. Calderon Gomez, «<https://www.scribd.com/>,» 23 Agosto 2017. [En línea]. Available: [scribd.com/document/356972954/Cade-Simu-Manual-de-Funcionamiento-pdf](https://www.scribd.com/document/356972954/Cade-Simu-Manual-de-Funcionamiento-pdf).
- [41] L. A. Garces, «Operaciones con solidos,» *Laboratorio de Molienda y Tamizado*, p. 8, 2017.
- [42] M. Lopez Maestre, «repositorio.ug.edu.ec,» 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2000/1/1052.pdf>.
- [43] M. A. Lopez y O. Seniterra, «<http://repositorio.ug.edu.ec/>,» [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2000/1/1052.pdf>.
- [44] T. Baumeisteir, E. Avallone y T. M. Baumeister III, Manual del ingeniero mecanico 8 ed., Mexico: Mc-Graw Hill, 1984.
- [45] V. M. Faires, Diseño de elementos de maquinas 4 ed., Buenos Aires: Pomaire, 1980.
- [46] C. G. d. a. S.A., «<https://repository.unilibre.edu.co/>,» Marzo 2007. [En línea]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>.
- [47] S. Cia. General de acero, «repository.unilibre.edu.co,» Marzo 2007. [En línea]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>.
- [48] M. N. Cordoba y C. Monsalve, «TIPOS DE INVESTIGACIÓN: Predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa,» 22 Agosto 2011. [En línea]. Available: http://2633518-0.web-hosting.es/blog/didact_mate/9.Tipos%20de%20Investigaci%C3%B3n.%20Predictiva%2C%20Proyectiva%2C%20Interactiva%2C%20Confirmatoria%20y%20Evaluativa.pdf.

-
- [49] DNP, «<https://www.dnp.gov.co/>,» 21 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.dnp.gov.co/DNPN/Paginas/Plan-Nacional-de-Desarrollo.aspx>.
- [50] D. Villanueva, «Análisis de la situación y recomendaciones de política de bioeconomía,» *Estudio sobre bioeconomía*, p. 9, 2018.
- [51] Technoserve, «<https://imgcdn.larepublica.co/>,» Enero 2015. [En línea]. Available: imgcdn.larepublica.co/cms/2015/08/28153649/Presentación%20Master%20Modelo%20Agricultura%20Competitiva%202015.pdf.
- [52] Portafolio, «Las tecnologías que podrían "salvar" el agro colombiano,» *Portafolio*, 2019.