



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un sistema semiautomático de molienda para la producción de
harina, mediante el uso de elementos electromecánicos.**

Chicaiza Iza, Elvis Vinicio

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Electromecánica

Ing. Bustillos Escola, Diego Israel MSc

30 de enero del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Diego I. Bustillos E.
 INC. DIEGO I. BUSTILLOS E.
 0503159808

Document Information

Analyzed document	MONOGRAFIA CHICAIZA ELVIS.pdf (D156944137)
Submitted	1/25/2023 10:29:00 PM
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	EULICES GUAMAN TESIS 1.pdf Document EULICES GUAMAN TESIS 1.pdf (D97028066)	6
SA	Tesis Toapanta-Toaquiza.docx Document Tesis Toapanta-Toaquiza.docx (D77306143)	2
SA	TESIS EDISON CHICAIZA - PATRICIO GERMAN.docx Document TESIS EDISON CHICAIZA - PATRICIO GERMAN.docx (D143407459)	1
W	URL: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3373/1/T-UCE-0010-408.pdf Fetched: 1/26/2023 12:31:00 AM	1
W	URL: https://como-funciona.co/materiales-conductores-electricos/ Fetched: 1/26/2023 12:31:00 AM	1
W	URL: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/20829 Fetched: 1/26/2023 12:29:00 AM	1
W	URL: https://www.cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/387/835 Fetched: 1/26/2023 12:30:00 AM	1

Entire Document

1 Caratula Implementación de un Sistema Semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos Chicaiza Iza, Elvis Vinicio

84%

MATCHING BLOCK 1/13

SA EULICES GUAMAN TESIS 1.pdf (D97028066)

Departamento de Eléctrica y Electrónica Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Electromecánica Ing.

Bustillos Escola, Diego Israel MSc 04 de noviembre del 2022 Latacunga

2 Departamento de Eléctrica y Electrónica Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica Certificación Certifico que la monografía: "Implementación de un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos." fue realizada por el señor Chicaiza Iza Elvis Vinicio, la misma que



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Certificación

Certifico que la monografía: **"Implementación de un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos."** fue realizada por el señor **Chicaiza Iza, Elvis Vinicio**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 30 de enero 2023

Ing. Bustillos Escola, Diego Israel MSc.

C. C.: 0503159808



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo **Chicaiza Iza, Elvis Vinicio**, con cédula de ciudadanía n° 0504474487, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Implementación de un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 30 de enero 2023

Chicaiza Iza, Elvis Vinicio

C.C.: 0504474487



Departamento de Eléctrica y Electrónica
Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Autorización de Publicación

Yo **Chicaiza Iza, Elvis Vinicio** con cédula de ciudadanía n° 0504474487, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Implementación de un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 30 de enero 2023

Chicaiza Iza, Elvis Vinicio

C.C.: 0504474487

Dedicatoria

El presente proyecto deseo dedicar primeramente a Dios que me ha dado la voluntad y la fuerza para lograr concluir con esta meta propuesta.

A mi padre Carlos que desde el cielo se encuentra brindándome sus mejores bendiciones en mi día a día.

A mi querida familia quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional en cada instante de mi carrera, dándome ánimos para continuar con dedicación y empeño. En especial a mi madre quien con todo su amor y cariño me ha brindado sus sabios consejos lo que me ha enseñado a ser una persona de bien, gracias a ello hoy me encuentro a unos pasos de conseguir una meta más en mi vida.

Chicaiza Iza Elvis Vinicio

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme salud y vida para conseguir culminar esta carrera profesional con éxito.

A mi familia por ser el pilar fundamental en el desarrollo de mi vida y motivarme en cada momento de este largo y arduo proceso, pero no imposible de conseguirlo.

Gracias a mis docentes quienes me compartieron sus conocimientos y con paciencia me impulsaron a aprender con bases firmes para el desarrollo profesional en esta carrera.

Chicaiza Iza Elvis Vinicio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas	14
Índice de ecuaciones.....	15
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I: Introducción	18
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema.....	20
Justificación	21
Objetivos	23
<i>Objetivo general</i>	23
<i>Objetivos específicos</i>	23
Alcance.....	23
Capítulo II: Marco teórico.....	25
Molino de granos	25
Clases de molinos.....	25
<i>Molinos de disco</i>	25
<i>Molinos de rodillos</i>	26
<i>Molinos de martillos</i>	27
Molienda de granos secos	27
<i>Características</i>	28

Granos	28
Tipos de molienda	29
Motor	30
Partes del motor	30
Tipo de motores	31
<i>Según su velocidad de giro</i>	31
<i>Según el tipo de rotor</i>	31
<i>Según en número de fases de alimentación</i>	31
Transmisión de potencia	32
Poleas	32
Correas	32
Engranajes	33
Discos de fricción	34
Ruedas de fricción	34
Conductores eléctricos	35
Características de los conductores eléctricos	35
Tipos de conductores eléctricos	36
Sensores y transductores	37
Actuadores	37
Autómatas Programables Industriales	38
Estructura de un PLC	38
Tipos de procesos de acuerdo con el grado o nivel de automatización	39
Niveles de automatización	40
Pirámide de automatización	40
Capítulo III: Desarrollo del tema	43
Transmisión de potencia	44
Determinación de fuerzas y potencias	44
Carga requerida	44
Velocidad de funcionamiento	45
Potencia requerida para moler	46
Potencia y velocidad de entrada	46
Par de entrada	47

<i>Reducción de velocidad</i>	48
<i>Sistema reductor de tren de poleas</i>	48
Validación mecánica.....	50
<i>Esquema cinemático</i>	52
<i>Concentrador de esfuerzos</i>	52
<i>Factor de seguridad del elemento</i>	54
<i>Análisis de esfuerzo de torsión del eje (computacional)</i>	54
<i>Cargas y sujeciones en el eje</i>	55
Selección de elementos	57
Elementos Mecánicos.....	57
<i>Molino manual</i>	57
<i>Motor</i>	59
<i>Poleas</i>	60
<i>Selección de las bandas</i>	61
<i>Chumaceras</i>	62
<i>Estructura de soporte</i>	63
Elementos de control.....	64
Selección de los elementos de control	64
<i>Contactador</i>	64
<i>Relé térmico</i>	65
<i>Temporizador ON DELAY</i>	66
<i>Pulsadores NA/NO</i>	67
<i>Paro de emergencia</i>	68
<i>Conductores eléctricos</i>	69
<i>Disyuntor de protección</i>	71
Desarrollo del Sistema Mecánico.....	71
<i>Montaje del motor eléctrico</i>	71
<i>Montaje de las poleas</i>	72
<i>Montaje del eje de transmisión principal</i>	73
<i>Montaje del molino en la estructura</i>	73
<i>Montaje de las bandas de transmisión</i>	74
<i>Colocación de cubiertas</i>	75

Desarrollo del sistema de control semiautomático	75
<i>Circuito de control.....</i>	75
Integración del sistema mecánico y de control	78
Pruebas de funcionamiento.....	80
Proceso de molienda	82
<i>Llenado de la materia prima en la maquina</i>	82
<i>Proceso de molienda manual</i>	83
<i>Proceso de molienda Semiautomática</i>	84
<i>Salida del producto terminado</i>	84
Resultados	85
Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones	90
Conclusiones.....	90
Recomendaciones	92
Bibliografía	93
Anexos	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Molino de disco</i>	26
Figura 2 <i>Molino de rodillos</i>	26
Figura 3 <i>Molino de martillos</i>	27
Figura 4 <i>Motor eléctrico</i>	30
Figura 5 <i>Poleas y correas de transmisión</i>	32
Figura 6 <i>Correas</i>	33
Figura 7 <i>Engranajes</i>	33
Figura 8 <i>Disco de fricción</i>	34
Figura 9 <i>Ruedas de fricción</i>	34
Figura 10 <i>Materiales conductores eléctricos</i>	35
Figura 11 <i>Elementos principales de un conductor eléctrico</i>	36
Figura 12 <i>Tipos de actuadores</i>	37
Figura 13 <i>PLC</i>	38
Figura 14 <i>Estructura interna del PLC</i>	39
Figura 15 <i>Pirámide de automatización</i>	41
Figura 16 <i>Diseño de la máquina</i>	43
Figura 17 <i>Esquema de sistema de transmisión de potencia</i>	44
Figura 18 <i>Selección del elemento para su validación</i>	51
Figura 19 <i>Esquema cinemático</i>	52
Figura 20 <i>Tipos de concentradores de esfuerzos</i>	53
Figura 21 <i>Diseño mecánico del elemento</i>	55
Figura 22 <i>Sujeción en el elemento</i>	56
Figura 23 <i>Cara con el momento torsor</i>	56
Figura 24 <i>Factor de seguridad</i>	57
Figura 25 <i>Molino manual marca corona</i>	58
Figura 26 <i>Motor eléctrico referencial</i>	59
Figura 27 <i>Sistema de 2 trenes de poleas</i>	60
Figura 28 <i>Chumacera tipo puente</i>	62
Figura 29 <i>Características técnicas</i>	63
Figura 30 <i>Contactador</i>	65
Figura 31 <i>Relé térmico</i>	66
Figura 32 <i>Temporizador análogo CAMSCO</i>	67
Figura 33 <i>Pulsadores NA-NC CAMSCO</i>	68
Figura 34 <i>Pulsador tipo hongo</i>	68
Figura 35 <i>Conductores eléctricos</i>	69
Figura 36 <i>Tabla de calibres de cables eléctricos AWG</i>	70
Figura 37 <i>Breaker de 20 A</i>	71
Figura 38 <i>Montaje del motor</i>	72
Figura 39 <i>Montaje de las poleas</i>	72
Figura 40 <i>Montaje del eje de transmisión principal</i>	73

Figura 41 <i>Montaje del molino</i>	74
Figura 42 <i>Montaje de las bandas de transmisión</i>	74
Figura 43 <i>Sistema mecánico del molino completo</i>	75
Figura 44 <i>Circuito de control y potencia</i>	76
Figura 45 <i>Elementos del circuito del control</i>	76
Figura 46 <i>Cableado de los elementos del circuito de control</i>	77
Figura 47 <i>Circuito de control completo</i>	77
Figura 48 <i>Sistema de control</i>	78
Figura 49 <i>Integración de los dos sistemas (mecánico y de control)</i>	79
Figura 50 <i>Prototipo final</i>	79
Figura 51 <i>Ajuste de bandas</i>	80
Figura 52 <i>Alineación de poleas de transmisión</i>	81
Figura 53 <i>Panel de control</i>	82
Figura 54 <i>Llenado de materia prima</i>	83
Figura 55 <i>Modo manual de molienda</i>	83
Figura 56 <i>Molienda Semiautomática</i>	84
Figura 57 <i>Producto terminado</i>	85
Figura 58 <i>Tiempo aplicado</i>	87
Figura 59 <i>Perdida de producto en el proceso</i>	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Diámetros mínimos en mm para las poleas de acuerdo con la potencia del motor</i>	47
Tabla 2	<i>Datos de características del material</i>	51
Tabla 3	<i>Propiedades del material</i>	55
Tabla 4	<i>Características del elemento</i>	58
Tabla 5	<i>Análisis del proceso de forma manual</i>	59
Tabla 6	<i>Especificaciones del motor</i>	60
Tabla 7	<i>Factor de servicio</i>	61
Tabla 8	<i>Especificaciones de la estructura</i>	63
Tabla 9	<i>Cargas a soportar</i>	64
Tabla 10	<i>Características técnicas del contactor</i>	65
Tabla 11	<i>Características técnicas del relé térmico de la marca LSELECTRIC</i>	66
Tabla 12	<i>Características técnicas temporizador marca CAMSCO</i>	67
Tabla 13	<i>Resultados de funcionamiento</i>	86
Tabla 14	<i>Tiempos aplicados</i>	86
Tabla 15	<i>Perdida de producto en el proceso</i>	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Cálculo del torque requerido</i>	45
Ecuación 2 <i>Cálculo de la potencia requerida</i>	46
Ecuación 3 <i>Conversión de HP a kW</i>	47
Ecuación 4 <i>Cálculo del torque del motor</i>	48
Ecuación 5 <i>Cálculo de la velocidad entre las poleas conductora y conducida 1</i>	49
Ecuación 6 <i>Cálculo del torque T1</i>	49
Ecuación 7 <i>Cálculo de la velocidad entre las poleas conductora y conducida 2</i>	50
Ecuación 8 <i>Cálculo del torque T2</i>	50
Ecuación 9 <i>Cálculo de Kt</i>	52
Ecuación 10 <i>Cálculo del esfuerzo cortante</i>	53
Ecuación 11 <i>Conversión de S_y a S_t</i>	54
Ecuación 12 <i>Cálculo del factor de seguridad</i>	54
Ecuación 13 <i>Cálculo de corriente</i>	69
Ecuación 14 <i>Cálculo de corriente de sobrecarga</i>	70

Resumen

Una automatización del proceso de molienda de granos como el maíz y morocho nos permite controlar de mejor forma la calidad del proceso reduciendo desperdicios al moler el grano, así mismo como facilitar al operario que se encarga de la molienda a evitar la fatiga producida por llevar a cabo un proceso manual de molienda. La implementación de un sistema semiautomático de molienda usado para la producción de harina de granos como el maíz y el morocho apoyada mediante el uso de elementos electromecánicos permite que la automatización del proceso ayuda a optimizar el tiempo de operación al moler los granos y a reducir la cantidad de gramos perdidos en el proceso de molienda manual apoyándose de un motor que sustente la fuerza mecánica y panel de control que simplifica el control del proceso mediante una función de trabajo manual y otra de trabajo semiautomático. El presente proyecto ayudo a eliminar el trabajo manual del operario para moler el grano mejorando de manera significativa la calidad del proceso y brindando un control seguro simplificado del mismo mediante el uso de las protecciones necesarias en la parte eléctrica y el análisis mecánico al automatizarlo.

Palabras clave: Sistema semiautomático, molienda de granos, producción de harina, calidad del proceso.

Abstract

An automation of the grinding process of grains such as corn and hard maize allows us to better control the quality of the process, reducing waste when grinding the grain, as well as facilitating the operator who is in charge of grinding to avoid fatigue caused by carrying out a manual grinding process. The implementation of a semi-automatic grinding system used for the production of grain flour such as corn and hard maize supported by the use of electromechanical elements allows the automation of the process to help optimize the operation time when grinding the grains and to reduce the quantity of grams lost in the manual grinding process supported by a motor that sustains the mechanical force and a control panel that simplifies the control of the process through a function of manual work and another of semi-automatic work. This project helped to eliminate the manual work of the operator to grind the grain, significantly improving the quality of the process and providing a simplified safe control of it through the use of the necessary protections in the electrical part and mechanical analysis when automating it.

Key words: Semiautomatic system, grain milling, flour production, process quality.

Capítulo I

Introducción

La automatización industrial es utilizar la tecnología a favor de integrar un proceso de control el cual por medio de dispositivos capaces de tomar decisiones y comunicarse entre ellos se programan con parámetros preestablecidos para mantener en control una o más variables buscando realizar de forma casi automática un sistema de mayor productividad, estabilidad y calidad en el proceso (Daysi, 2014).

Dentro de la operación de los molinos para triturar grano la automatización industrial puede llevar a un tiempo más reducido para la producción, además de un menor esfuerzo físico por parte del personal con la obtención de un producto de mejor calidad buscan de esta forma que con la implementación de sistema semiautomático en la molienda se mejore todas las condiciones ya mencionadas facilitando el trabajo del operador.

Antecedentes

En la actualidad la actividad de molienda en los sectores agrícolas ha mejorado, gracias a las nuevas tecnologías que se utilizan para implementar y automatizar los molinos manuales. Con estos sistemas para la molienda se logra reducir los tiempos de producción y mejorar la calidad del producto, para mantenerse en un nivel adecuado dentro del mercado comercial.

Autor: Naranjo, Moyano, Padilla y Santillán

Año: 2019

Tema: "Análisis y diseño de un molino eléctrico de granos económicos para PYMES",

Conclusión: se realiza un análisis del diseño y construcción de un molino eléctrico juntamente con un mezclador de granos, basados en la necesidad que tiene las granjas de

moles y mezclar granos para alimento de los animales. El molino fue construido con herramientas versátiles y económicas que faciliten la fabricación a los granjeros.

Resultados: Para la elaboración de este proyecto se tomaron en cuenta diferentes variables tales como, tamaño promedio del grano, capacidad máxima de la maquinaria, tiempo de molido. Con este diseño se obtuvo un grano de mejor calidad permitiendo una mejor digestión en los animales de la granja, su costo aproximado fue de \$137.40 lo que lo vuelve accesible para la mayoría de PYMES (Naranjo et al., 2019).

Autor: Toapanta N.

Año: 2021

Tema: "Automatización de un molino de granos secos para optimizar el proceso de molienda en la Granja Agroecológica Familia TC".

Conclusiones: Tras poner en funcionamiento el sistema luego de algunas pruebas, se puede evidenciar que los tiempos de operación se reducen de gran manera y de igual modo la cantidad de pérdida de harinas.

Resultados: La automatización del molino necesito de modificaciones en la estructura siendo necesario colocar correas y poleas para la transmisión del movimiento del motor hacia el eje del molino. Además de la elaboración un soporte para todo el sistema y una modificación en la tolva de para que pueda almacenar más cantidad de materia prima y manteniendo al operador sin exponerse a los elementos en movimiento (Toapanta, 2021).

Autor: Trujillo, L.

Año: 2013

Tema: "Molino eléctrico casero"

Conclusión: se fundamenta en la necesidad de mejorar los sistemas de transmisión, empleándolos en la fabricación de un molino eléctrico casero con el objetivo de minimizar el trabajo físico.

Resultados: Para este trabajo se tomaron en cuenta fuentes primarias y secundarias, además de visitas técnicas a centros educativos de instrucción superior. Mediante el estudio del funcionamiento la investigación logró identificar el adecuado montaje de los elementos que constituyen el armazón del molino eléctrico (Trujillo, 2013).

De acuerdo con la información expuesta se determina que es factible mejorar con las nuevas tecnologías el funcionamiento del molino de granos secos.

Planteamiento del problema

En las zonas agrícolas, desde los tiempos remotos las personas campesinas se han dedicado a la agricultura, por lo cual uno de los productos que se cultivan en gran cantidad son los granos secos, ya que una vez que se cosechan, estos son procesados para la obtención de la harina para el consumo de la sociedad.

Con el pasar de los años se han venido desarrollando diferentes técnicas de molienda que favorezcan al procesamiento de la materia prima en los sectores agrícolas, los cuales se dedican al cultivo y cosecha en gran cantidad de los granos secos. En la actualidad existen molinos manuales y eléctricos para la realizar el proceso de trituración.

En la operación de los molinos manuales para triturar el grano conlleva un tiempo más alargado en relación con los molinos eléctricos, además el esfuerzo físico implica a una fatiga lo que representa a la obtención de un producto de baja calidad. Cabe mencionar que al no mantener una correcta postura física en este trabajo posibilita que el operador sea más propenso a contraer enfermedades de columna.

La importancia de implementar nuevas tecnologías al procedimiento de la molienda tiene una significación alta con respecto a la producción de harina en los sectores agrícolas, ya que, al no investigar nuevas técnicas y mejoras, la calidad del producto terminado no sería el adecuado, esto traería consecuencias como la baja economía a las personas que viven en el campo.

Mediante la investigación que se ha realizado, se implementara nuevas tecnologías a los molinos ya existentes con el objetivo de mejorar el funcionamiento y control de estas máquinas.

Justificación

La importancia de implementar un sistema semiautomático en un molino manual por medio de un motor eléctrico permitirá reducir el esfuerzo físico que realizan los operadores y mejorar los tiempos en la producción, disminuyendo las pérdidas económicas en los sectores agrícolas.

Para el manejo y control del molino eléctrico se efectuará dos tipos de usos sencillos. En el primer uso el operador solo tendrá que accionar un pulsador de encendido para iniciar y un pulsador de apagado para finalizar. En el segundo uso el operador deberá accionar un pulsador de encendido, en cual pondrá en funcionamiento al molino por un tiempo estimado para después finalizar automáticamente. En los dos casos el molino trabajara con una potencia y velocidad específica.

Las ventajas de utilizar este proceso automatizado son:

- Facilidad de manejo
- Rapidez en el proceso de molienda
- Disminución de la baja calidad del producto terminado

Este trabajo beneficiara a la familia Chicaiza, mismos que son productores de granos secos, puesto que el molino semiautomático optimiza las actividades de molienda de grano y con esto se obtiene un crecimiento de trabajos más seguros, minimizando los riesgos de enfermedades asociadas a la postura de los operarios, que a futuro puedan manifestarse.

En los resultados de este trabajo se logrará mejorar la calidad del producto terminado a menores tiempos, lo cual permitirá mejorar la economía de los productores de harina que se obtiene a partir de los granos secos.

Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos.

Objetivos específicos

- Analizar proyectos similares para el entendimiento del estado del arte y plantear marco teórico del proceso y de los elementos electromecánicos.
- Seleccionar y describir las características de los elementos del sistema mecánico y el sistema de control.
- Implementar el sistema de molienda semiautomático acoplando el sistema de control semiautomático al sistema mecánico.
- Resultados y conclusiones del proyecto.

Alcance

Para iniciar con el proyecto se realizará una explicación general de los diferentes elementos mecánicos de un molino de granos como el eje, la estructura y poleas, elementos que más adelante serán analizados sus esfuerzos mediante SolidWorks además de una investigación de los diferentes elementos que intervienen en un sistema de automatización buscando encontrar las ventajas y desventajas que conllevan la utilización de estas tecnologías.

Para llevar a cabo el proyecto será preciso hacer una selección de los elementos eléctricos y mecánicos, además de las protecciones adecuadas que necesitará el motor eléctrico que proveerá de fuerza al sistema de molienda, una vez ensamblado el prototipo se procederá a la realización de pruebas del funcionamiento para detectar posibles correcciones en la automatización.

Con la implementación del proyecto se pretende buscar una mejora en la producción de harina reduciendo el tiempo de producción, lograr moler por un tiempo estimado una cantidad de harina específica y colocar elementos electromecánicos de protección para el sistema de control manual y semiautomático de molienda.

Capítulo II

Marco teórico

La formulación del marco teórico se realizará mediante una investigación de las variables independiente y dependiente que corresponde a los elementos electromecánicos y los sistemas semiautomáticos de molienda para la producción de harina respectivamente.

Molino de granos

Los molinos de granos son dispositivos mecánicos diseñados para triturar diferentes tipos de granos reduciéndolos a un estado granos finos dependiendo del tamaño del espesor al moler el grano esto se hace con la finalidad de facilitar su manipulación y almacenamiento siendo capaz de utilizar diferentes tipos de funcionamiento como son por presión, impacto o percusión, fricción y escisión (Bermeo, 2014).

Clases de molinos

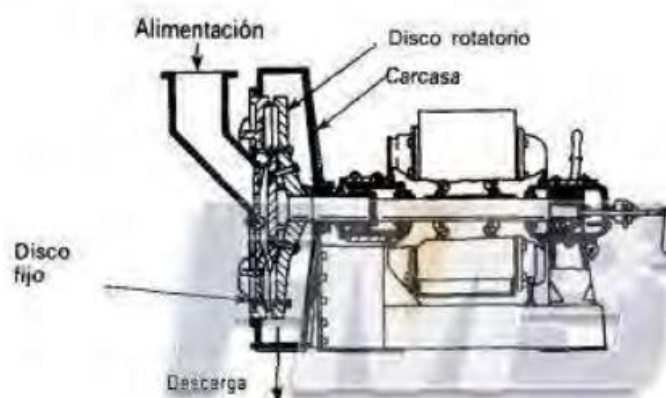
Dentro de la industria alimentaria los más utilizados son los molinos de disco, rodillos y de martillos.

Molinos de disco

Estos pueden ser de dos variedades de disco simple o de disco vibratorio la molienda se realiza por medio de la presión y frotación o de la fuerza de cizallamiento que se ejerce entre los discos los cuales pueden variar el tamaño del grano al ajustarse el disco estos pueden ser lizos, dentados o de gran variedad de relieves en su superficie además de que sus discos giran en sentidos diferentes uno es estático y otro se mantiene en movimiento (Valdiviezo, 2018).

Figura 1

Molino de disco



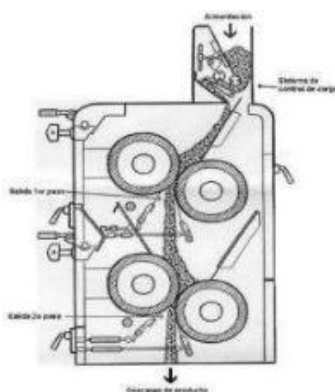
Nota. Molino de disco. Tomado de (Valdiviezo, 2018).

Molinos de rodillos

Estos se utilizan mayormente en la industria minera y la agroindustria. La molienda se produce por compresión y fricción, la cual es generada cuando se pasa entre dos rodillos, los cuales giran en sentidos opuestos. Estos permiten ajustar el tamaño del grano molido variando el espesor en la distancia entre los rodillos, los mismos que pueden ser lisos, corrugados o con relieves diferentes (Valdiviezo, 2018).

Figura 2

Molino de rodillos



Nota. Molino de rodillos. Tomado de (Valdiviezo, 2018).

Molinos de martillos

Son diseñados para trituración y molienda con una gran capacidad de procesar varios tipos de granos con distinto tipo de espesor por la salida su fortaleza se halla en la facilidad de operar y su gran robustez ocupan poco espacio y tienen una gran capacidad de molienda la alimentación del grano se hace por gravedad la cual lleva el grano a la cámara de trituración donde el eje gira permitiendo que los martillos golpeen el material gracias a la fuerza centrífuga (Méndez y Orellana, 2018).

Figura 3

Molino de Martillos



Nota. Molino de Martillos. Tomado de (Méndez y Orellana, 2018).

Molienda de granos secos

Los principales sistemas de producción para los pequeños agricultores son el trigo, la cebada, el maíz, la mayoría de los pequeños productores utilizan diferentes métodos de labranza: tractor, mano y yunta. Las combinaciones dependen de la temporada de siembra, la topografía del suelo y la disponibilidad de maquinaria. Gracias a la distribución uniforme de las

lluvias, los agricultores pueden sembrar semillas durante todo el año. Se utiliza una amplia gama de insumos externos, como pesticidas, fungicidas y fertilizantes. Los pequeños agricultores a menudo utilizan mano de obra familiar o contratada durante los períodos de alta demanda durante la siembra y la cosecha (Chávez, 2015).

Características

Se caracterizan por un valioso contenido proteico. valor biológico y nutricional. Hoy en día, se consideran alimentos de alta calidad. Generalmente se clasifican como cultivos rústicos, tolerantes a la sequía, heladas y salinidad, pero poco se ha hecho para mejorarla. A través de encontrar las formas de transformación más adecuadas, que no pérdida de propiedades nutricionales básicas como sabor, color y estructura. Deben ser transformados en armonía con la naturaleza, convirtiéndolos en harinas de diferentes espesores que son los que tienen mayor ventaja comparativa y competitiva abastecimiento de productos orgánicos (Chávez, 2015).

Granos

- Maíz: es utilizado como materia prima para la elaboración de la harina y también se puede consumir en forma de tostado, mote, tortillas o tamales, Para la población indígenas y mestiza es de gran importancia ya que del maíz se obtiene, la chicha además de abundante en almidón poder obtener azúcar.
- Cebada: es utilizado como materia prima en la fabricación del arroz de cebada, harinas y machica se lo suele usar para alimentar a los animales ya que se obtiene el afrechillo o bien pacas de tamo, además es el ingrediente principal de la malta, que se emplea en la fabricación del whisky y la cerveza.
- Trigo: generalmente se lo utiliza molido como harina y en un gran porcentaje de la producción total de trigo es utilizada para el consumo humano en la elaboración de galletas, tortas, pan y pastas por otro lado también es destinado a alimentación animal y

el restante se utiliza en la industria o como simiente que se utiliza para la preparación de aditivos para la cerveza y otros licores.

Tipos de molienda

- **Grano partido:** esta molienda hace que el grano este partido por la mitad, conservando el almidón intacto, por lo general se realiza en el maíz, avena, morochillo, siendo los primeros para el consumo exclusivo de aves que están en etapas de engorde Este grano se lo elabora en un molino que no esté demasiado ajustado.
- **Molienda gruesa:** esta molienda hace que el grano este partido a modo de conservar aun parte del grano y extrayendo parte del almidón en forma de harina. por lo general se realiza en el morochillo, avena, café, sales de mar, carbón.
- **Molienda media:** esta molienda hace que el grano obtenga una trituración muy notable y se extraiga la mayor cantidad de almidón dejando una cantidad de harina y grano se utiliza en la mayor parte de granos y cereales en la industria panadera.
- **Molienda media fina:** esta molienda esta echa por una gran parte del grano triturado en secciones minúsculas donde la mayoría del grano ya es harina por lo general se realiza en el trigo, avena, café, morochillo, morocho.
- **Molienda fina:** esta molienda es la harina ya que consta con algunas partículas del grano no triturado en su totalidad por lo general se realiza en gran mayoría de granos y cereales para llegar a este punto de triturado se usa un tamiz de tela o papel.
- **Molienda extrafina:** es una molienda que llega a ser tan fina parecida como el polvo de talco por lo general se realiza en almidón, tapioca, cacao, café y de estos se derivan en productos usados en la industria alimentaria, para lograr este punto de trituración los molinos debes estar ajustados con precisión y usar un tamiz muy delgado para no generar residuos del grano (Toapanta, 2021).

Motor

El motor eléctrico es una máquina que tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica en energía mecánica donde el motor por inducción es el más utilizado ya que posee características que combinan ventajas bajo costo de utilización de energía eléctrica, facilidad de limpieza y simplicidad de comando junto con una gran versatilidad de adaptación a cargas (Palacios, 2021).

Figura 4

Motor eléctrico



Nota. Motor eléctrico. Tomado de (Harutyunyan, 2019).

Partes del motor

El motor está constituido por partes, las cuales son:

- **Carcasa:** caja que cubre las partes eléctricas del motor generalmente de aluminio, es la parte externa que ayuda a disipar el calor generado cuando el motor trabaja con algo de carga.
- **Estator:** está construido de un apilado de chapas magnéticas, y sobre estas va alojada en bobinado estatórico, es la parte fija de la carcasa que genera el campo magnético que impulsa la rotación del rotor.

- **Rotor:** es la parte giratoria del motor que transmite la potencia mecánica desarrollada por el motor (Farina, 2018).

Tipo de motores

Se puede clasificar de diversas maneras, según su velocidad de giro, según el tipo de rotor y según el número de fases de alimentación.

Según su velocidad de giro

- **Motor asíncrono:** la velocidad del rotor es menor a la del campo magnético para la regulación de velocidad será discreta, sin pérdidas, sin embargo, la carcasa será más grande que la de un motor de velocidad única (Palacios, 2021).
- **Motor síncrono:** la velocidad del rotor es la misma a la del campo magnético este funciona con velocidad fija, sin interferencia del deslizamiento y es utilizado normalmente para grandes potencias (Palacios, 2021).

Según el tipo de rotor

- Motor de anillo rozante
- Motor con colector
- Motor de jaula de ardilla

Según en número de fases de alimentación

- Motor monofásico
- Motor trifásico
- Motor con arranque bobinado auxiliar
- Motor con arranque bobinado auxiliar y con capacitor

Transmisión de potencia

Son dispositivos montados en ejes que transmiten movimiento de un eje a otro por medio de correas de transmisión, poleas, engranajes, discos de fricción o ruedas para que la velocidad final del eje de salida pueda aumentar o disminuir acorde a lo que se necesite. A continuación, se describen los elementos más utilizados para la transmisión de potencia.

Poleas

Poseen forma de rueda acanalada y tienen una correa en su interior que transfiere el movimiento de una polea a la otra por fricción. Dependiendo del diámetro de la polea, la relación de transmisión puede aumentar o disminuir la velocidad del extremo del eje al que está conectada, esto se logra cambiando la polea a un diámetro mayor o menor, pero también utilizando una polea expansible para aumentar o disminuir el diámetro. Al usar poleas, se debe tener cuidado de mantenerlas limpias, especialmente donde entran en contacto con la correa lateralmente, y evitar en lo posible el contacto con aceite o grasa, lo que podría provocar que la correa patine (Toapanta, 2021).

Figura 5

Poleas y correa de transmisión



Nota. Poleas y correa de transmisión. Tomado de (Transmisiones, 2022).

Correas

La transmisión de movimiento mediante correas con poleas no es el único método utilizado en equipos industriales, pero por lo general es el más utilizado, estas correas son un

complemento a las poleas ya mencionadas y pueden ser tanto dentadas como trapezoidales para ajustarse al tipo de polea que se utilice (Toapanta, 2021).

Figura 6

Correas



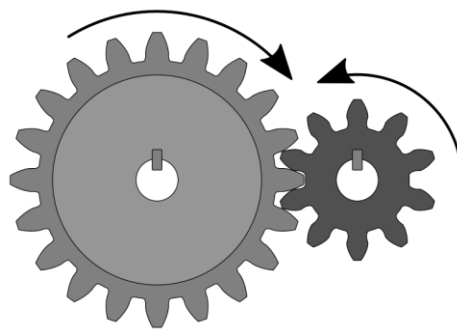
Nota. Correas. Tomado de (Transmisiones, 2022).

Engranajes

Estos por lo general se hallan dentro de una caja que los cubre y protege de elementos que los puedan averiar, En ellos la transmisión se hace por un movimiento circular, aunque generalmente consigue que disminuya o aumente la potencia de transmisión. Cuando los engranajes están en uso, siempre deben lubricarse con aceite o una cantidad suficiente de grasa para evitar en lo posible un desgaste por fricción excesivo (Toapanta, 2021).

Figura 7

Engranajes



Nota. Engranajes. Tomado de (Transmisiones, 2022)

Discos de fricción

Se utilizan para transmitir movimiento axial, como las placas de embrague, y evitar que la fricción entre las placas de metal dañe la transmisión. En cambio, estos discos soportan el desgaste provocado por la fricción, por lo que están fabricados con materiales muy duraderos (Toapanta, 2021).

Figura 8

Disco de fricción



Nota. Disco de fricción. Tomado de (Transmisiones, 2022).

Ruedas de fricción

Se utilizan para transmitir movimiento periférico. Consisten en una rueda sobre un eje que transmite el movimiento creado por el motor en contacto con otra rueda. El uso de este tipo de transmisión está limitado porque no puede transferir grandes fuerzas entre los ejes (Toapanta, 2021).

Figura 9

Ruedas de fricción



Nota. Ruedas de fricción. Tomado de (Transmisiones, 2022).

Conductores eléctricos

Son aquellos elementos que tienen una baja resistencia al paso de la corriente eléctrica, de acuerdo con sus propiedades específicas. Además, su estructura permite la fácil circulación de los electrones, por lo que esto favorece a una mejor transferencia de electricidad (Espino, 2019).

Figura 10

Materiales conductores eléctricos.



Nota. Materiales conductores eléctricos. Tomado de (Ramos, 2018).

Características de los conductores eléctricos

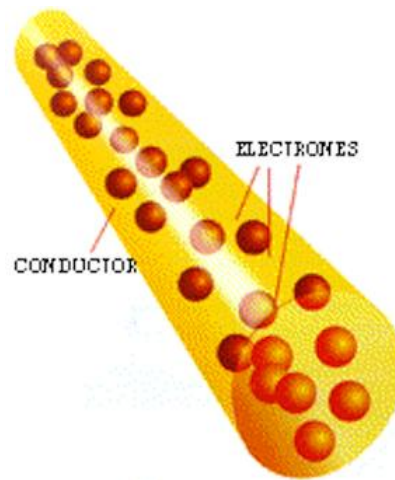
- Facilita la conducción de electricidad, ya que permite el libre flujo de electrones.
- Tienen un gran número de electrones que se mueven libremente en el material.
- Son altamente maleables.
- Tienen una alta resistencia al desgaste.
- Poseen una capa exterior aislante, facilitando la protección del contacto con el material cargado de corriente eléctrica.

Tipos de conductores eléctricos

Existe una gran cantidad de conductores que se dividen en grupos de acuerdo con su concepto y efectúa la transición eléctrica.

Figura 11

Elementos principales de un conductor eléctrico.



Nota. Elementos principales de un conductor eléctrico. Tomado de (Ramos, 2018).

- **Conductores metálicos:** los electrones que circulan libremente portan la carga, por lo que la conducción es de forma electrónica. A este grupo pertenecen todo tipo de metales, las aleaciones, que son combinaciones de uno o más metales.
- **Conductores gaseosos:** son conductores que se presentan de forma gaseosa, que han pasado por un proceso de ionización en el cual ganan o pierden electrones, lo que les brinda la capacidad de conducir electricidad.
- **Conductores electrolíticos:** la conducción eléctrica de estos materiales es iónica, donde ocurre una reacción química, en la cual una sustancia se divide en sus polos positivos y negativos, por lo que permite el paso de corriente y a su vez existe un desplazamiento de materia (Ramos, 2018).

Sensores y transductores

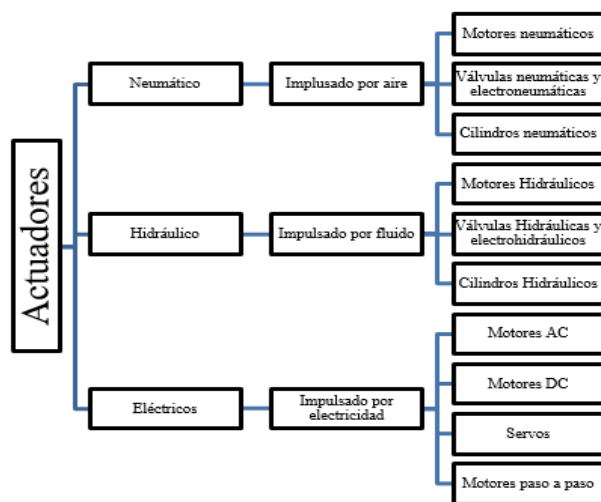
Sensores son dispositivos que se encuentran en contacto directo con la variable que nos interesa medir y para ello se valen de un principio físico, óptico, térmico, magnético o eléctrico que permita generar una señal digital o analógica de dicha variable junto con el transductor convierte estas señales en una señal física que puede ser interpretada por el sistema de control mantiene un estándar entre la corriente y el voltaje que proporciona el sensor en la actualidad sensor y transductor se encuentran de manera conjunta en un solo dispositivo (Carrillo y Calero, 2016).

Actuadores

En la industria se utiliza gran variedad de actuadores que pueden ser eléctricos neumáticos o hidráulicos, los cuales son capaces de generar fuerza suficiente para un cambio de posición, velocidad o el estado de un elemento mecánico que en conjunto se emplean para lograr el funcionamiento de un proceso (Esmeraldas, 2019).

Figura 12

Tipos de actuadores



Nota. Tipos de actuadores. Tomado de Ramos (Yomara, 2019)

Autómatas Programables Industriales

También llamados PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo electrónico diseñado para controlar una gran variedad de procesos industriales en tiempo real entre funciones básicas tiene el control de mando, la detección de señales de los captadores y el dialogo entre operadores y el proceso (Aguilera, 2020).

Figura 13

PLC



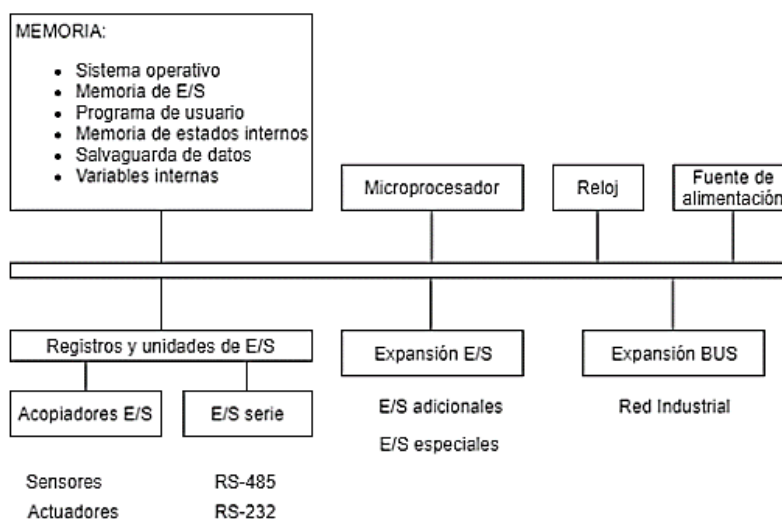
Nota. PLC. Tomado de (Gavazzi, 2019).

Estructura de un PLC

Dentro de la estructura de un PLC podemos diferenciar la estructura externa la cual se caracteriza por ser compacta manteniendo los elementos en único bloque y su modularidad que permite adaptar a los diferentes tipos de entradas y salidas que se necesita mediante módulos especializados para estas además del módulo de alimentación, además de la estructura interna que maneja el proceso interno del PLC (Gavazzi, 2019).

Figura 14

Estructura interna del PLC



Nota. Estructura interna del PLC. Tomado de (Gavazzi, 2019).

Tipos de procesos de acuerdo con el grado o nivel de automatización

- **Manuales:** En estos sistemas se caracteriza por la intervención directa de uno o varios operadores que se encargan del accionamiento de la maquinaria o mantener el comportamiento regular de un sistema, en estos sistemas siempre se aprecia la intervención humana donde el operador tiene que visualizar el proceso y según las condiciones planteadas tomar decisiones y actuar de forma directa (Herrera, 2018).
- **Semi automáticos:** las operaciones manuales son ayudadas por tecnologías de apoyo como contadores, temporizadores o hasta microcontroladores o PLC que ayudan a independizar ciertas etapas del proceso manteniendo el control y supervisión mediante las tecnologías de apoyo mencionadas (Sanchez y Pizarro, 2020).
- **Automáticos:** En estos sistemas se caracteriza por la capacidad de actuar de una forma autónoma, en base parámetros de comportamiento predefinidos para el sistema, aquí se trata de eliminar o suprimir parcialmente la intervención humana se realiza a través de la ejecución de secuencias y tiempos determinados por un PLC que ha sido

programado para mandar el proceso mejorando la eficiencia y calidad del producto, además de reducir los riesgos del personal (Herrera, 2018).

Niveles de automatización

Los distintos niveles de automatización que se puede alcanzar dependerán de factores como la inversión económica, tecnológica y talento humano que se demande para el proceso industrial y estos niveles se pueden dividir en ciertas áreas de interés para la empresa como una automatización de equipos y maquinaria de producción, la adopción de modificaciones de productos o procesos existentes y una continua línea de investigación y desarrollo (Saltos et al., 2020).

Pirámide de automatización

La pirámide de automatización está integrada por las distintas tecnologías como electrónica, mecánica, telecomunicaciones, redes industriales entre otras. Se hallan ordenadas en cinco niveles que forman parte de la industria en donde se relacionan entre si a través de diferentes estándares de comunicación industrial (Esmeraldas, 2019).

La pirámide de la automatización se considera como una representación gráfica de los niveles de automatización que requiere la industria para su correcto funcionamiento, esta estratégicamente estructurados, basados en su intercomunicación en un proceso productivo. Tiene el objetivo de estructurar correctamente el proceso de automatización de una industria, por lo que se debe tener en claro el objetivo de cada nivel, lo que garantiza la efectividad, productiva, administrativa y económica de las organizaciones que deciden emplear esta metodología (Barona y Velasteguí, 2021).

Figura 15

Pirámide de automatización



Nota. Pirámide de automatización. Tomado de (Yomara, 2019).

- **ERP:** nivel integral o de gestión controla los recursos para una adecuada planificación de la empresa también llamado Enterprise Resource Plannig se encarga de recopilar la información de áreas operativas y administrativas para posteriormente interpretarla y analizarla para facilitar la toma de decisiones.
- **MES:** este nivel gestiona y supervisa los procesos totales de la planta también conocido como Manufacturing Execution System
- **SCADA:** Es un nivel de representación gráfica de los dos primeros niveles a través de interfaces humano maquina llamada HMI que facilita la interacción y supervisión en tiempo real o mediante históricos
- **Nivel de Control:** Este incluye los microcontroladores, dispositivos como PLC o computadores industriales que se encargan de controlar los procesos lógicos y secuenciales del proceso automatizado.

- **Nivel de Campo:** Es el primer nivel y comprende todos los elementos físicos como sensores, actuadores, equipos y maquinarias que intervienen directamente en el proceso (Barona y Velasteguí, 2021).

Capítulo III

Desarrollo del tema

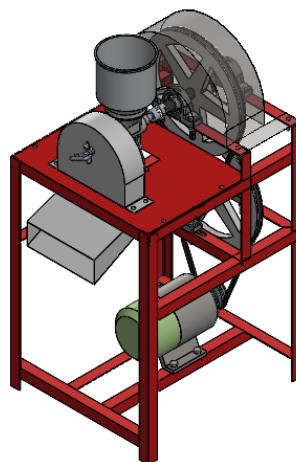
Para llevar a cabo la implementación del sistema semiautomático de molienda para la producción de harina que mejorara el proceso de trabajo y la calidad de producto terminado, se eligió los elementos mecánicos y eléctricos que se usaran para la máquina, especificando las características técnicas de cada elemento. Adicional se realizó la validación mecánica de uno de los elementos del sistema de transmisión de potencia para conocer su nivel de confiabilidad de falla por estar sometido a cargas críticas.

- **Modelo de la máquina de molienda en SolidWorks**

En la figura 16 se muestra el diseño de la máquina de molienda, el mismo que se realizó mediante el software SolidWorks, en la cual se puede conocer la estructura física y entender su funcionamiento, para así poder realizar el análisis de los esfuerzos sometidos a la estructura de la máquina, posteriormente se obtendrá la validación tanto en cálculos matemático como en la simulación mediante el software.

Figura 16

Diseño de la máquina



Nota. La figura muestra el diseño de la máquina en SolidWorks.

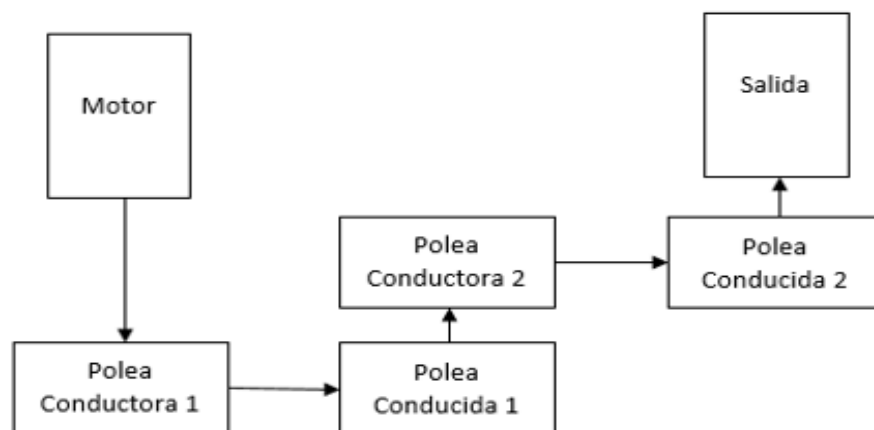
Transmisión de potencia

En la actualidad los sistemas de transmisión son los más usados en la industria, su finalidad es transmitir y aumentar la potencia de un sistema mecánico. Utiliza el movimiento de cuerpos solidos como engranes y correas para realizar su función, debido a esto aumenta, mantiene o disminuye la velocidad y la fuerza que hace girar un objeto (Higuera, 2020).

La trasmisión de potencia del motor eléctrico al eje conducido está conectada mediante un sistema de poleas y faja de trasmisión, en el siguiente esquema se muestra de forma más entendible el sistema, el cual está formado por cuatro poleas y dos bandas de transmisión que conectara la potencia del motor con el eje de salida mediante un eje intermedio que junta las bandas de transmisión.

Figura 17

Esquema de sistema de transmisión de potencia



Nota. La figura muestra el esquema de sistema de transmisión de potencia mediante poleas.

Determinación de fuerzas y potencias

Carga requerida

Para poder girar el mango del molino de disco (marca corona) cuya distancia es de 0.23m, de acuerdo con pruebas realizadas en molienda de los granos secos, se necesita

aplicar una fuerza de 10.7 kg misma que puede ser suministrada por un operario o por un motor con un sistema de transmisión que ejerza una fuerza similar para lo cual se realizara el cálculo del torque necesario (Pérez, 2014).

Convirtiendo la fuerza de kg a N:

$$10.7kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 104.86N$$

Ecuación 1

Cálculo del torque requerido

$$T = Fr$$

$$T = 104.86N * 0.23m$$

$$T = 24.11 Nm$$

Donde:

T = Torque (Nm)

F = Fuerza (N)

r = Radio de distancia (m)

Velocidad de funcionamiento

Este tipo de molino está diseñado para el uso manual por lo que es idóneo no exceder la velocidad alcanzada, ya que de acuerdo con pruebas realizadas una persona al moler alcanza velocidades entre 70 a 120 rpm, pero por un poco periodo de tiempo ya que el esfuerzo físico no permite seguir manteniendo estas velocidades por un prolongado tiempo (Pérez, 2014).

Se considera una velocidad de 110 rpm con la finalidad de alcanzar una producción más alta y darle relevancia al proyecto, puesto que la maquina no presentara la fatiga que presenta una persona al hacer un uso manual del molino, además de que se puede trabajar por

más tiempo manteniendo la misma la potencia y velocidad a lo largo del proceso obteniendo un producto más uniforme.

Velocidad requerida= 110 RPM

Potencia requerida para moler

La potencia necesaria para el proceso de molienda de granos secos está dada por el torque y la velocidad angular del eje del molino el cual se obtiene de la siguiente formula dándonos el dato para la escoger la potencia del motor a usarcé en la automatización:

Ecuación 2

Cálculo de la potencia requerida

$$P = T\omega$$

$$P = 37.5 \frac{N}{m} * \left(110 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{2\pi rad}{1 rev} \right)$$

$$P = 0.432 kW$$

Donde:

P = Potencia (kW)

T = Torque (Nm)

ω = Velocidad angular (rad/s)

Para conseguir el objetivo de molienda de granos, el motor escogido tiene que entregar una potencia que sobrepase el valor obtenido pues luego de la reducción de velocidades realizado por la fase de transmisión con el fin de obtener la velocidad ideal de operación se perderá una cierta cantidad de potencia.

Potencia y velocidad de entrada

El motor que se utilizara para este sistema tiene una potencia de 0.75 HP y una velocidad de 1725 rpm.

Ecuación 3

Conversión de HP a kW

$$P = 0,75 \text{ HP} * \frac{745,7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 0,56 \text{ kW}$$

Tabla 1

Diámetros mínimos en mm para las poleas de acuerdo con la potencia del motor

Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Nota. Diámetros mínimos en mm para las poleas de acuerdo con la potencia del motor.

Tomado de (Intermec, 2018).

Par de entrada

Para efectuar este resultado se debe dividir entre la potencia anteriormente calculado con la velocidad angular, misma que se obtiene a partir de las revoluciones por minuto del motor.

Ecuación 4

Cálculo del torque del motor

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{560 \text{ N} * \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1725 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T = 3.10 \text{ Nm}$$

Reducción de velocidad

Para acercarse a la velocidad requerida de molienda a partir de la velocidad de entrada del motor, se utilizará un sistema de tren de poleas, en el cual se determina cada diámetro necesario para las poleas.

Sistema reductor de tren de poleas

Con esta combinación de poleas se logra reducir la velocidad del motor, para obtener la requerida para su respectivo trabajo.

Primer tren reductor de poleas

Con la ecuación 5 se calculará la velocidad del eje de salida entre la relación de las primeras poleas, donde el diámetro de la polea conductora 1 se multiplica por la velocidad del motor y este resultado se divide para el valor de la polea conducida 1. Este cálculo servirá para poder calcular el torque T1.

Ecuación 5

Cálculo de la velocidad entre las poleas conductora y conducida 1

$$n2 = \frac{\phi1 * n1}{\phi2}$$

$$n2 = \frac{3 * 1725 \text{ rpm}}{12}$$

$$n2 = 431.25 \text{ rpm}$$

Donde:

$\phi1$ = Diámetro de la polea conductora 1(in)

$\phi2$ = Diámetro de la polea conducida 1 (in)

$n1$ = Velocidad de eje motriz (rpm)

Ecuación 6

Cálculo del torque T1

$$T1 = \frac{560 \text{ N} * \frac{m}{s}}{431.25 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T1 = 12.40 \text{ Nm}$$

Como se observa los resultados de la velocidad en la ecuación 5 no es la adecuada ya que sobrepasa 4 veces más a la velocidad requerida, además torque que se obtuvo en la ecuación 6 está por debajo del torque que se requiere para el molino.

Con un segundo tren reductor de poleas se conseguirá aproximar a la velocidad y torque requeridos.

Segundo tren reductor de poleas

Con la ecuación 7 se calculará la velocidad del eje de salida entre la relación de las segundas poleas, donde el diámetro de la polea conductora 2 se multiplica por la velocidad que

se obtuvo en la ecuación 5 y este resultado se divide para el valor de la polea conducida 2. Este cálculo servirá para poder calcular el torque T1.

Ecuación 7

Cálculo de la velocidad entre las poleas conductora y conducida 2

$$n4 = \frac{\phi3 * n2}{\phi4}$$

$$n4 = \frac{3 * 431.25 \text{ rpm}}{12}$$

$$n4 = 107.81 \text{ rpm}$$

Donde:

$\phi3$ = Diámetro de la polea conductora 2(in)

$\phi4$ = Diámetro de la polea conducida 2 (in)

$n1$ = Velocidad de eje motriz (rpm)

Ecuación 8

Cálculo del torque T2

$$T2 = \frac{560 \text{ N} * \frac{m}{s}}{107.81 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T2 = 49.60 \text{ Nm}$$

Como se observa los resultados de la velocidad en la ecuación 7 es muy cercana a la velocidad requerida y el torque que se obtuvo en la ecuación 8 es mayor al torque requerido obtenido en la ecuación 1, por lo que estos valores obtenidos serán adecuados para el funcionamiento del sistema.

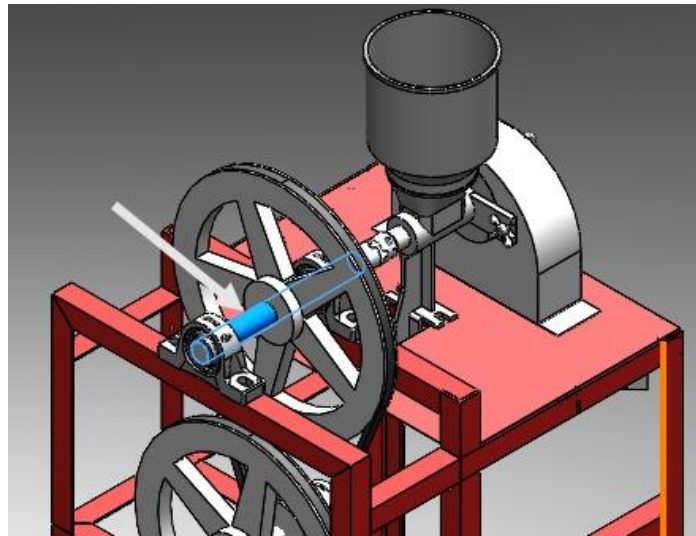
Validación mecánica

Para el análisis se escogió el elemento sometido a mayores cargas en el proceso de transmisión de potencia, ya que es importante conocer su grado de confiabilidad para un buen

funcionamiento del sistema, de acuerdo con las dimensiones de este y sus propiedades. Como se puede observar en la figura 18 el eje seleccionado está dentro del sistema de transmisión de potencia, por lo que está sujeto a diferentes cargas, las mismas que tienden a la deformación, de manera que es importante realizar el análisis estático de este elemento.

Figura 18

Selección del elemento para su validación



Nota. La figura muestra la selección del elemento para su validación en SolidWorks.

Tabla 2

Datos de características del material

Especificaciones del material del eje: Acero AISI 1020

Resistencia a la tensión $S_u = 420 \text{ MPa}$

Resistencia de fluencia $S_y = 352 \text{ MPa}$

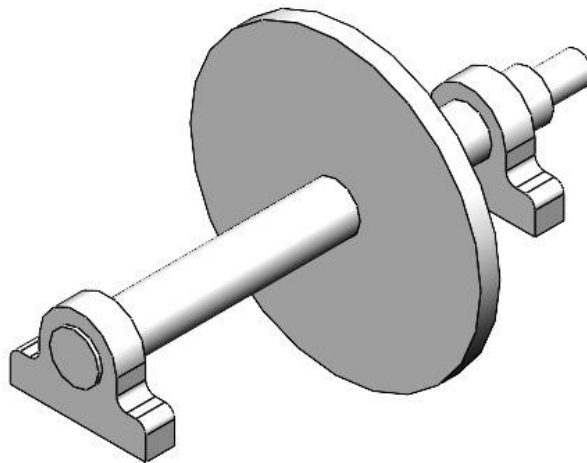
Nota. Datos de características del material. Tomado de Tabla A-6 Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Esquema cinemático

El esquema cinemático ilustra la conectividad de los elementos mostrados en la figura 19 en la que se puede observar el eje sobre el que se va a realizar al análisis estático, en el que se muestra también que existe una fuerza de momento y fuerza de flexión el cual se conecta al disco de molienda.

Figura 19

Esquema cinemático



Nota. La figura muestra el esquema cinemático realizado en SolidWorks.

Concentrador de esfuerzos

Debido a que existe un cambio de sección en el eje existirá un mayor esfuerzo en ese punto, por lo que se realizará el análisis aplicando el método de momento torsor aplicado al eje.

Para encontrar el valor K_t se obtiene a partir de los diámetros del eje y el redondeo.

Ecuación 9

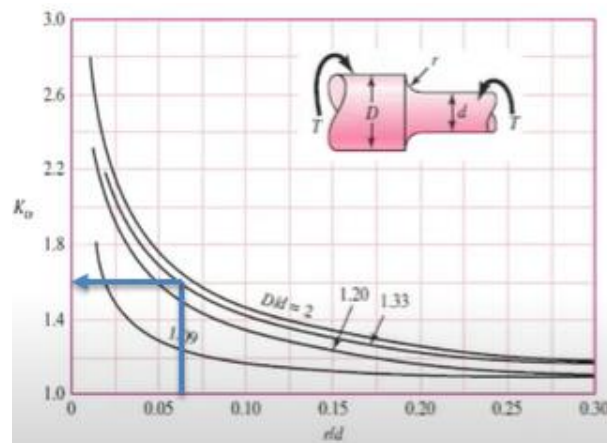
Cálculo de K_t

$$\frac{r}{d} = \frac{1\text{mm}}{16\text{mm}} = 0,06$$

$$\frac{D}{d} = \frac{25.4\text{mm}}{16\text{mm}} = 1,59$$

Figura 20

Tipos de concentrados de esfuerzos



Nota. Tipos de concentrados de esfuerzos. Tomado de (Budynas et al., 2015).

Mediante el cálculo realizado en la ecuación 9 se acuerdo a las curvas de la figura 21 se obtiene el valor de K_t .

$$K_t = 1.6$$

Ecuación 10

Cálculo del esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{16T}{\pi(d)^3} (K_t)$$

$$\tau = \frac{16(49.600Nmm)}{\pi(16mm)^3} (1.6)$$

$$\tau = 98.67 \text{ Mpa}$$

Donde:

T = Torque en el eje

D = diámetro menor del eje

τ = Esfuerzo cortante

K_t = Concentrador de esfuerzo.

Factor de seguridad del elemento

El factor de seguridad del elemento se diseñará con el valor máximo de deformación, el cual se muestra en la tabla 2, pero este valor hay que transformarlo al valor de límite cortante S_τ , que se obtiene a través de la relación entre la resistencia a la fluencia S_y sobre la raíz de 3.

Ecuación 11

Conversión de S_y a S_τ

$$S_\tau = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

$$S_\tau = \frac{352 \text{ Mpa}}{\sqrt{3}}$$

$$S_\tau = 203.22 \text{ Mpa}$$

Para conocer cuál es el valor del FS para el elemento se calcula el límite cortante que se obtuvo en la ecuación 11 sobre el esfuerzo cortante que se calculó en la ecuación 10.

Ecuación 12

Cálculo del factor de seguridad

$$FS = \frac{S_\tau}{\tau}$$

$$FS = \frac{203.22 \text{ Mpa}}{98.67 \text{ Mpa}}$$

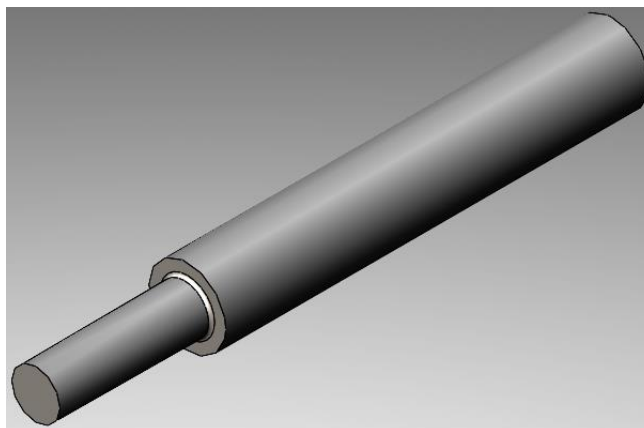
$$FS = 2.06$$

Análisis de esfuerzo de torsión del eje (computacional)

Para realizar la validación del eje, se utilizó el software SolidWorks en el cual se diseñó el elemento y se agregó sus características, tales como el tipo de material y las cargas sometidas para su posterior análisis en el simulado realizado por el software, mismo que permitirá conocer las resistencias a los diferentes esfuerzos sometidos por las cargas aplicadas.

Figura 21

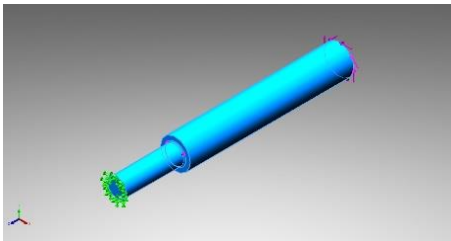
Diseño mecánico del elemento



Nota. La figura muestra el diseño mecánico del elemento realizado en SolidWorks.

Tabla 3

Propiedades del material

Referencia del modelo	Propiedades
	Nombre: AISI 1020
	Resistencia a la tensión: 420 Mpa
	Resistencia a la fluencia: 350 Mpa

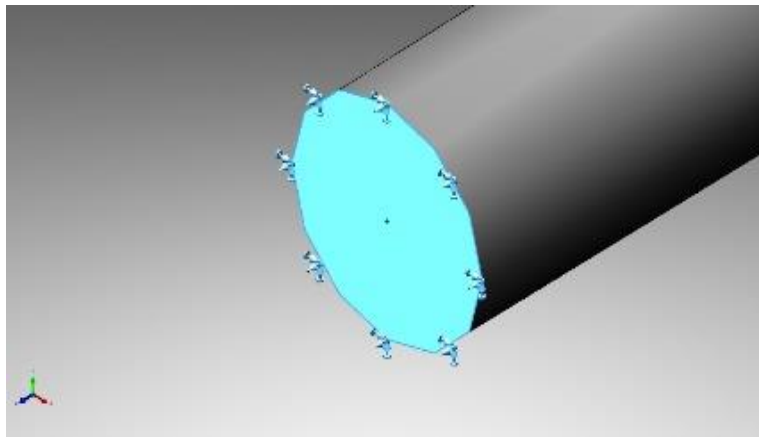
Nota. La tabla muestra las propiedades del material realizado en SolidWorks.

Cargas y sujeciones en el eje

Para las sujeciones se seleccionó la cara del eje de diámetro menor que va conectada hacia la carga requerida como se muestra en la figura 23.

Figura 22

Sujeción en el elemento

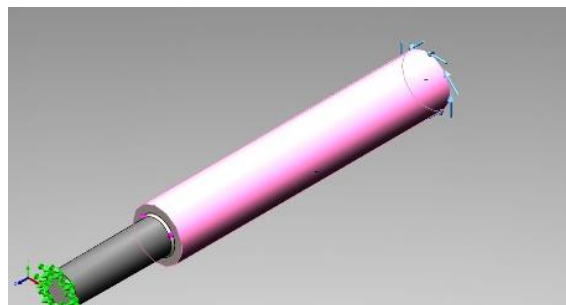


Nota. La figura muestra la sujeción en el elemento realizado en SolidWorks

Para agregar la fuerza de torsión se seleccionó la cara del eje de diámetro mayor que se conecta al motor en el cual se genera el torque, mismo que se puede observar en la figura 24.

Figura 23

Cara con el momento torsor



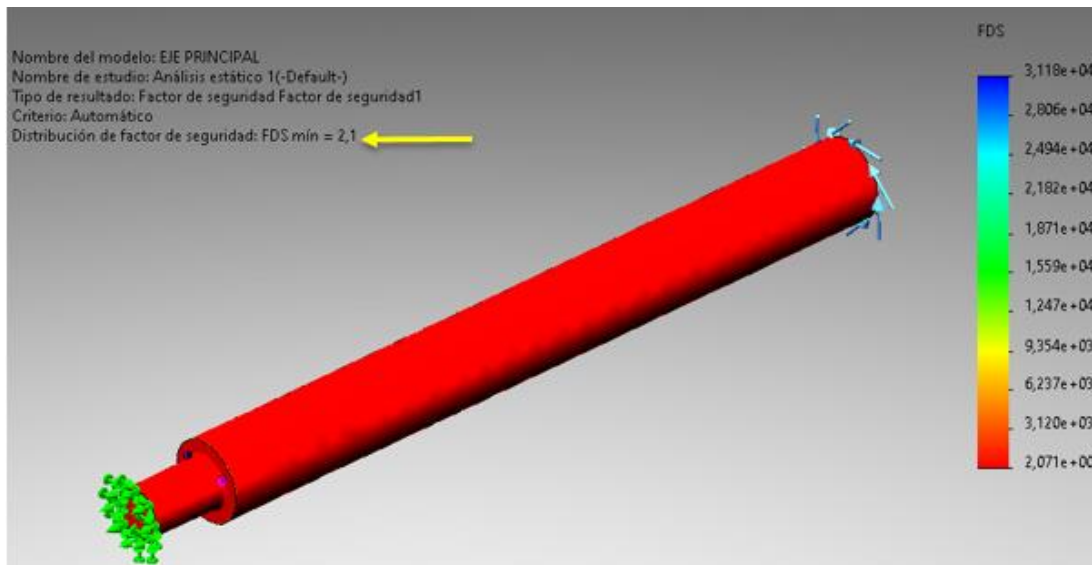
Nota. La figura muestra la cara con el momento torsor realizado en SolidWorks.

Momento torsor aplicado: 42.6 N.

Con base de datos agregados en el software se puedo verificar los resultados del estudio.

Figura 24

Factor de seguridad



Nota. La figura muestra el factor de seguridad. Tomado de SolidWorks.

En la figura 25 se puede observar el factor de seguridad obtenido para el eje, cuyo valor está en 2.1

Selección de elementos

Previo al desarrollo del proyecto, es importante realizar un levantamiento de información, a través de reconocimiento visual y evaluación del funcionamiento teórico de cada elemento que se va a utilizar durante el trabajo

Elementos Mecánicos

Molino manual

Es considerado como un artefacto mecánico que trabaja de forma manual, donde el operador se encarga de proporcionar la fuerza de trabajo al molino, sin mantener una RPM constantes puesto que el ser humano está sujeto a la fatiga (Since, 2021).

Figura 25*Molino manual marca corona*

Nota. Molino manual marca corona. Tomado de (Since, 2021).

Tabla 4*Características del elemento*

Granos requeridos de molienda	Todo tipo de granos
Color	Plateado
Dimensiones del producto	32.5 * 27 cm
Material	Hierro
Peso	4.5 kg

Nota. Características del elemento. Tomado de (Cabezas, 2017).

De acuerdo con el análisis del funcionamiento manual del molino, se estimaron los tiempos de molienda para varias cantidades de producto terminado (harina de granos secos). Existen algunos granos en los cual el proceso de molienda es repetitivo hasta de 3 veces, para obtener la requerida contextura del producto final.

Tabla 5*Análisis del proceso de forma manual*

Materia prima	Cantidad de ingreso	Contextura del producto	Tiempo de molienda	Cantidad de producto procesado	Perdida del producto
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	345 seg	2.84 lb (1290.78 gr)	70 gr
		Molienda fina	480 seg	2.86 lb (1310.78 gr)	50 gr
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	540 seg	2.93 lb (1316.76 gr)	30 gr
		Molienda media	630 seg	2.90 lb (1315.78 gr)	45 gr

Nota. La tabla muestra el análisis del proceso de molienda de forma manual.

Motor

Para un adecuado funcionamiento del molino eléctrico y compensar el valor de la carga se utilizará un motor con las siguientes especificaciones mostradas en la tabla 6, el cuál constará con sistema de protección de sobrecargas para evitar que sufra daños por sobre tensión o sobre corriente, además de dos estados de trabajo como es el manual y el semiautomático.

Figura 26*Motor eléctrico referencial*

Nota. Motor eléctrico referencial. Tomado de (Contreras, 2010).

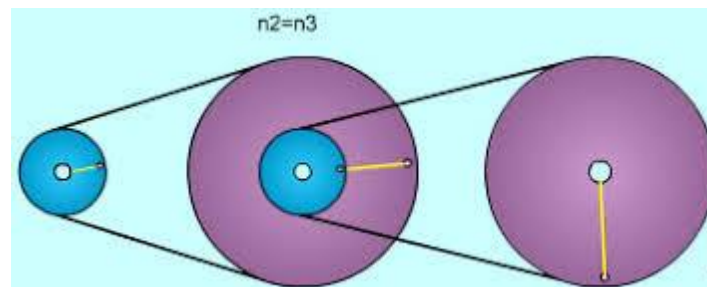
Tabla 6*Especificaciones del motor*

Marca	WEG
Modelo	Abierto
Potencia HP	0.75
Potencia kW	0.5592749
Tensión	110V/220V
RPM	1725

Nota. La tabla muestra las especificaciones del motor.

Poleas

Para este caso el sistema de transmisión debe constar de dos trenes de poleas, para poder entregar una velocidad y torque de acuerdo con la carga. Para un sistema de dos trenes de poleas se utilizará una polea conductora y tres poleas conducidas, las cuales reducirán la velocidad del motor a las 110 RPM necesarias para la molienda.

Figura 27*Sistema de 2 trenes de poleas*

Nota. Sistema de 2 trenes de poleas. Tomado de (Atom, 2018).

La polea de acuerdo con la tabla 1 muestra los diámetros mínimos que se deben tomar en cuenta conforme a la potencia y velocidad de cada motor. Se tiene una potencia de 0.75 HP por lo que el diámetro requerido debe ser:

$$D \geq 65 \text{ mm}$$

La polea seleccionada para el eje del motor será de 3" y esta conecta al segundo eje a una polea de 12", además se utilizará este segundo eje para poder reducir más las RPM transmitidas del motor y se dispondrá de una segunda polea de 3" que conectará con la polea conducida de 12" conectada al eje de molienda de acuerdo con el sistema requerido para obtener la relación 110 RPM y la potencia requerida.

Selección de las bandas

Tabla 7

Factor de servicio

Tipo de trabajo	Factor de corrección	Condición de trabajo
Trabajo libre	1	Trabajo intermitente. Funcionamiento <=6 horas diarias sin sobrecargas Sobrecarga máxima momentánea o
Trabajo normal	1.2	carga en el arranque inicial <= 150% de carga normal Funcionamiento de 6-16 horas diarias
Trabajo pesado	1.4	Sobrecarga máxima momentánea o carga en el arranque inicial <= 250% de carga normal Funcionamiento continuo de 16-24 horas diarias
Trabajo extrapesado	1.6-2	Sobrecarga máxima momentánea o carga en el arranque inicial <= 250% de carga normal, frecuencias de sobrecargas momentáneas o frecuentes arranques. Funcionamiento continuo de 24 horas diarias, 7 días por semana

Nota. La tabla muestra el factor de servicio utilizado para motores.

Para el trabajo de las bandas de acuerdo con la potencia se utiliza un factor de corrección conforme con el trabajo a realizar véase en la tabla 7. Factores de servicio se seleccionó el valor de (1), por lo que:

$$P_w = 1P$$

$$P_w = (1)0.75 \text{ HP}$$

$$P_w = 0.75 \text{ HP}$$

Chumaceras

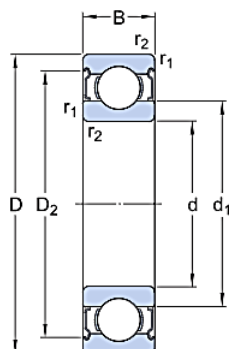
Para lograr un movimiento ideal de los ejes de transmisión de potencia, es necesario utilizar chumaceras en las partes adecuadas de los ejes que estarán en movimiento, de esta manera se logra tener un menor porcentaje de fricción y reducir la pérdida de potencia en la transmisión para un desempeño adecuado del proceso de molienda.

Figura 28

Chumacera tipo puente



Nota. Chumacera tipo puente. Tomado de (Núñez, 2015).

Figura 29*Características técnicas*

Dimensiones

d	25.4 mm	Diámetro del agujero
D	57.15 mm	Diámetro exterior
B	15.875 mm	Ancho
d ₁	≈ 35.58 mm	Diámetro del resalte
D ₂	≈ 49.33 mm	Diámetro de rebaje
r _{1,2}	min. 1.6 mm	Dimensión del chaflán

Nota. Características técnicas. Tomado de (Rivera, 2009).

Estructura de soporte

La estructura de soporte de todos los elementos cumple con las siguientes especificaciones:

Tabla 8*Especificaciones de la estructura*

Material	Especificaciones
Angulo hierro negro	35 x 35 x2
Plancha hierro negro	e = 3mm
Soldadura	E6011

Nota. La tabla muestra las especificaciones de las dimensiones de la estructura.

Para la construcción de la estructura se debe determinar las masas de todos los elementos que va a soportar como se indica en la tabla 9.

Tabla 9*Cargas a soportar*

N° de cargas	Detalle	Peso (kg)	Peso total (kg)
1	Granos secos	0,90	0,90
2	Molino	4,5	4,5
3	3 chumaceras	1,5	4,5
4	2 poleas de 3"	0,45	0,9
5	2 poleas de 12"	0,9	1,8
6	2 banda de transmisión	0,2	0,4
7	Motor	13,5	13,5
Total		21,95	26,5

Nota. La tabla muestra las cargas a soportar de la estructura.

Las cargas se distribuyen en cada parte de la estructura, lo cual da un total de 26,5 kg. Para el diseño de la estructura se utilizará ángulo del material ASTM A36.

Elementos de control

Como el sistema está constituido de dos circuitos uno de potencia y el otro de control, se desarrolló por ciclos en el cual primero se realizaron pruebas y simulaciones de cada uno de los elementos de control.

Selección de los elementos de control

Contactor

El contactor del modelo LS ELECTRIC consta de una bobina de CA de 120V, la misma que al entrar en excitación cierra los contactos de potencia, dejando pasar la corriente hacia la carga requerida, su forma física se observa en la figura 31. Este contactor realiza el enclavado y cambio de estados en el proceso de molienda acorde al esquema mostrado anteriormente.

Figura 30*Contactor*

Nota. La figura muestra una fotografía de un contactor de 110V.

Tabla 10*Características técnicas del contactor*

Características técnicas	Valores
Corriente de trabajo máxima	18 A
Voltaje	120 V AC
Temperatura de operación	-5 a 60° C
Numero de polos	3 Polos
Peso bruto	359.5g

Nota. La tabla muestra las características técnicas del contactor.

Relé térmico

Este relé térmico consta de regulación que está comprendida entre 12 a 18 A. El relé está diseñado para ser acoplado directamente a la salida de un contactor, este dispositivo protegerá al motor cuando exista alguna sobrecarga para evitar que el motor sufra daños en sus bobinados por sobre tensiones o sobre corrientes en el sistema.

Figura 31*Relé térmico*

Nota. En la figura se observa un relé térmico LSELECTRIC.

Tabla 11

Características técnicas del relé térmico de la marca LSELECTRIC

Características técnicas	Datos
Contactos auxiliares integrados	NO + NC
Campo de ajustes de disparador de cortocircuito	12A – 18A
Temperatura de trabajo	-5 a 60° C
Peso bruto	184.1g

Nota. La tabla muestra las características técnicas del relé térmico.

Temporizador ON DELAY

Para el funcionamiento automático de la maquina se selecciona el temporizador ON DELAY que se activa por un tiempo estimado, para luego apagarse automáticamente, de esta

forma se logrará realizar el proceso de molienda con un producto y tiempo estimado de funcionamiento de la maquinaria el cual podrá variarse acorde al tiempo de molido que se desee.

Figura 32

Temporizador análogo CAMSCO



Nota. En la figura se observa un temporizador análogo CAMSCO.

Tabla 12

Características técnicas temporizador marca CAMSCO

Características técnicas	Datos
Tensión de alimentación	AC 110V, 220V, 380V, 440V DC 12V, 24V
Frecuencia	50/60Hz
Temperatura de trabajo	-10 a 55° C

Nota. La tabla muestra las características técnicas del temporizador ON DELAY.

Pulsadores NA/NO

Con los pulsadores se activará y desactivará el paso de corriente a los elementos que requieren alimentación en el sistema de control estos darán las señales de mando que permitirán mantener o desactivar los diferentes estados del proceso de molienda generando una señal de pulso solamente momentánea que será utilizada por los diferentes elementos.

Figura 33

Pulsadores NA-NC CAMSCO



Nota. En la figura se observa pulsadores de la marca CAMSCO.

Paro de emergencia

Con el paro de emergencia se pondrá en inactividad rápida la maquina por cualquier circunstancia adversa en el funcionamiento de la misma este dispositivo de emergencia mantendrá su estado de inactividad de la maquina hasta que el operario considere que es seguro volver a poner en marcha el proceso de molienda sin poner en riesgo al operario o la maquinaria.

Figura 34

Pulsador tipo hongo



Nota. En la figura se observa el pulsador tipo hongo de la marca CAMSCO.

Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos permiten transportar la energía, de acuerdo con el material que estén fabricados, tienen una baja resistencia al paso de corriente, la mayoría están contruidos de cobre por su accesible precio con se observa en la figura 36 en la selección de cableado debe tenerse en cuenta la corriente que fluirá a través de estos para que puedan resistir el paso de dicha corriente el calibre del cable debe ser el adecuado.

Figura 35

Conductores eléctricos



Nota. La figura muestra el conductor seleccionado. Tomado de (Faubla, 2022).

Ecuación 13

Cálculo de corriente

$$I = \frac{P}{V(\cos\phi)}$$

$$I = \frac{559.5W}{110V(0.48)}$$

$$I = 10.59 A$$

Donde:

I = Corriente (A)

P = Potencia (W)

$V =$ Voltaje (V)

$\text{Cos}\phi =$ Factor de potencia

Ecuación 14

Cálculo de corriente de sobrecarga

$$I_s = I_n + I_n(0.25)$$

$$I_s = 10.59 \text{ A} + 10.59 \text{ A}(0.25)$$

$$I_s = 13.24 \text{ A}$$

Con la corriente de sobrecarga se elige el conductor ideal para el sistema de potencia como se muestra en la figura 37.

Figura 36

Tabla de calibre de cables eléctricos AWG

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Nota. La figura muestra el conductor seleccionado para el control del motor. Tomado de (Faubla, 2022).

Disyuntor de protección

Para la selección de la protección del motor se toma en cuenta la corriente de sobrecarga obtenida en la ecuación 12, para lo cual se escoge un disyuntor de 20 A bipolar como se muestra en la figura 38 el cual corta el paso de corriente en caso de haber una sobre carga en el motor protegiendo de que esta sufra daños por la sobre corriente.

Figura 37

Breaker de 20 A



Nota. La figura muestra el breaker seleccionado.

Desarrollo del Sistema Mecánico

Montaje del motor eléctrico

En el montaje del motor se procede a fijar el motor a la base mediante el uso de pernos y tuercas que sujetaran al motor a cada lado de la base metálica mostrada en la figura 39 aquí se buscara dejar la polea del motor centrada y alineada con el eje de transmisión secundario además dará el ajuste suficiente para que la banda de transmisión pueda movilizar la otra polea del eje secundario.

Figura 38*Montaje del motor*

Nota. La figura muestra una fotografía del montaje del motor.

Montaje de las poleas

En el montaje de las poleas se realizó la fijación de las poleas de 3" y 12" del sistema de transmisión dejando estas alineadas en los diferentes ejes del motor, el eje reductor y el eje de transmisión principal del molino mediante el ajuste de sus pasadores.

Figura 39*Montaje de las poleas*

Nota. La figura muestra una fotografía del montaje de las poleas.

Montaje del eje de transmisión principal

El montaje del eje de transmisión principal se lo realizo colocándolo en la chumacera superior y conectándolo al eje motriz del molino que se fijó en la base de la estructura tratando de que estén alineados y centrados para evitar vibraciones en el molino.

Figura 40

Montaje del eje de transmisión principal



Nota. La figura muestra una fotografía del montaje del eje de transmisión principal.

Montaje del molino en la estructura

El montaje del molino se lo realiza median la prensa de sujeción propia del molino que lo aprieta con base para asegurar que este no se mueva de su posición mientras mantiene centrado el eje principal y el eje del molino.

Figura 41*Montaje del molino*

Nota. La figura muestra una fotografía del montaje del molino.

Montaje de las bandas de transmisión

Para el montaje de las bandas de transición primero se colocará en la polea más grande de 12" para luego fijarla a la polea más pequeña de 3" repitiendo esta para la segunda banda y conectando por este medio el motor al eje principal de transmisión que moverá el molino.

Figura 42*Montaje de las bandas de transmisión*

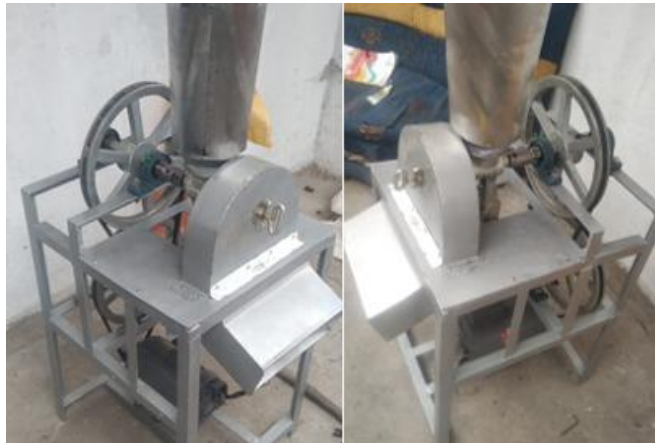
Nota. La figura muestra una fotografía del montaje de las bandas de transmisión.

Colocación de cubiertas

Finalmente, una vez colocado todos los elementos mecánicos del molino se procede a colocar las cubiertas que protegerán las partes móviles del sistema de transmisión y las cubiertas que conducirán el producto molido a la salida de la molienda.

Figura 43

Sistema mecánico del molino completo



Nota. La figura muestra una fotografía sistema mecánico del molino completo.

Desarrollo del sistema de control semiautomático

Circuito de control

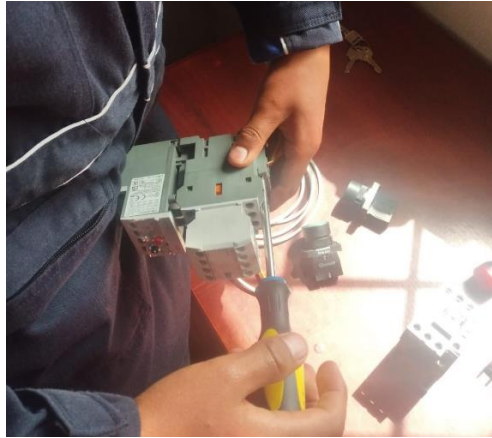
El sistema de control deberá funcionar de dos formas para que sea de fácil uso de cada persona:

- Con un pulsador de inicio P1 se deberá encender la máquina y con un pulsador de paro P0 se apagará.
- Con un pulsador de inicio P2 se deberá encender la máquina por un tiempo estimado para luego apagarse automáticamente.

Como se puede observar en la figura 46, observamos los diferentes elementos que conforma el circuito de control los cuales serán cableados acordes al esquema del circuito e implementados en prototipo para controlar la parte semiautomática y manual del proceso.

Figura 46

Cableado de los elementos del circuito de control



Nota. La figura muestra una fotografía del cableado de los elementos del circuito de control.

Tras terminar el cableado de los elementos podemos observar en la figura 48 como se verá el circuito de control ya ensamblado además de poder poner a prueba este circuito y revisar su correcto funcionamiento antes de colocarlo en el prototipo del molino.

Figura 47

Circuito de control completo

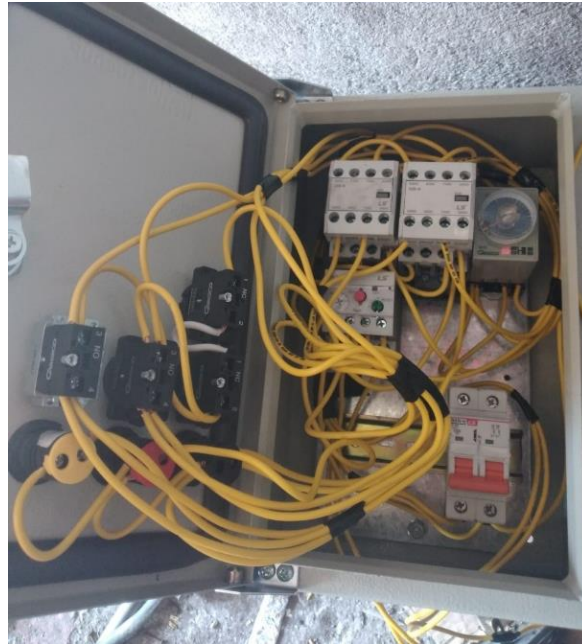


Nota. La figura muestra una fotografía del circuito de control completo.

Finalmente, tras comprobar su correcto se procede colocar todo el cableado del sistema de control dentro del gabinete eléctrico que cumplirá la función de panel de control para el operario del prototipo de molino como se observa en la figura 49.

Figura 48

Sistema de control



Nota. La figura muestra una fotografía del sistema del control dentro del gabinete.

Integración del sistema mecánico y de control

Una vez terminado el sistema mecánico y el sistema de control se procede a juntarlos para realizar las últimas conexiones del motor al sistema de control como se observa en la figura 50 una vez unidos estos dos sistemas se procede se realiza pruebas para verificar su funcionamiento.

Figura 49

Integración de los dos sistemas (mecánico y de control)



Nota. La figura muestra una fotografía la Integración de los dos sistemas (mecánico y de control).

Como se observa en la figura se procede a verificar la continuidad en los terminales del motor para realizar la conexión correcta de acuerdo a la placa de del motor y posterior realizar el empalme hacia los terminales del tablero, Tras verificar el funcionamiento de la integración de los dos sistemas mecánico y de control se procede a cerrar el gabinete eléctrico que protegerá los elementos del sistema de control y se usará como panel de control para el operario del molino.

Figura 50

Prototipo final



Nota. La figura muestra una fotografía del prototipo final.

Pruebas de funcionamiento

Aquí se verifica el correcto funcionamiento del trabajo manual y semiautomático del molino revisando la acción conjunta del sistema mecánico junto con el sistema de control que permitirá las dos formas de trabajo ya mencionadas para la máquina de molienda afinando los pequeños detalles del prototipo como se indica a continuación:

- **Ajuste de las bandas a través de un mecanismo de templadores**

Para dejar el sistema mecánico afinado se deben tensar las bandas utilizadas en el sistema de transmisión por lo que se realiza un ajuste simple para probar su funcionamiento dejando aun una pequeña holgura en los templadores los cuales después de probar las diferentes formas de trabajo serán reajustados dejándolos en su estado final para el correcto funcionamiento de la máquina de molienda

Figura 51

Ajuste de bandas



Nota. La figura muestra una fotografía del ajuste final de las bandas.

- **Alineación de las poleas de transmisión**

Dentro del sistema mecánico se deberá ajustar la alineación de las poleas para asegurar una buena transmisión de la potencia del motor al eje de la molienda a través del sistema de transmisión por lo que aquí se busca dejar las poleas lo más alineadas posibles entre los ejes de transmisión.

Figura 52

Alineación de poleas de transmisión



Nota. La figura muestra una fotografía de la alineación de las poleas.

- **Panel de control**

El panel de control mandara las señales de activación junto con los pulsadores de paro, manual y semiautomático de los diferentes procesos controlando la activación o desactivación del motor además de permitir visualizar mediante los indicadores el estado del motor o si está activado el modo semiautomático y contando como un paro de emergencia que detenga todo como se observa en la siguiente figura

Figura 53

Panel de control



Nota. La figura muestra una fotografía del panel de control.

Proceso de molienda

Llenado de la materia prima en la maquina

Como primer paso para poner en marcha la máquina de molienda se debe alimentar de la cantidad de grano que será la materia prima para moler en la maquina ya sea de forma manual o semiautomática por lo que se procederá a colocar la cantidad de grano dentro de la tolva de alimentación.

Figura 54

Llenado de materia prima



Nota. La figura muestra una fotografía del llenado de la materia prima.

Proceso de molienda manual

Una vez alimentada la maquina con una cantidad de grano que será la materia prima de la molienda podemos optar por que la maquina realice un trabajo manual en el cual el operario pondrá en marcha el motor como se indica en la figura y el operario mismo deberá apagar el motor una vez se haya terminado de moler la cantidad de grano puesta en la tolva de alimentación o cuando se haya logrado conseguir el tipo de molienda deseado.

Figura 55

Modo manual de molienda



Nota. La figura muestra una fotografía de la puesta en marcha del modo manual de molienda.

Proceso de molienda Semiautomática

Una vez alimentada la maquina con una cantidad de grano que será la materia prima de la molienda podemos optar por que la maquina realice un trabajo semiautomático en el cual se pondrá en marcha el motor para realizar la molienda solo por un tiempo determinado y luego este se apagará sin necesidad de que el operario tenga que accionar el botón de paro o sin que necesariamente se haya terminado de moler todo el grano suministrado a la maquina como se muestra en la figura 57.

Figura 56

Molienda Semiautomática



Nota. La figura muestra una fotografía de la puesta en marcha del modo semiautomático de molienda.

Salida del producto terminado

Una vez terminado el proceso ya sea manual o semiautomático se obtendrá a la salida de la maquina un grano molido el cual podrá seguir moliendo hasta llegar la molienda desea como se observa en la figura 58.

Figura 57

Producto terminado



Nota. La figura muestra una fotografía del producto terminado.

Resultados

Una vez terminado las pruebas de funcionamiento se procede a determinar los resultados de acuerdo con los tipos de control del sistema para realizar el proceso de molienda. Para ello se utiliza la tolva de entrada de producto en la cual se realiza el llenado con 3 lb granos secos para cada proceso de molienda permitiendo una vez finalizados analizar los resultados del funcionamiento de esta entregando los siguientes resultados mostrados en la tabla 13 y tabla 14.

Los granos con los cuales se realizarán las pruebas de funcionamiento del molino eléctrico serán el maíz y el morocho ya que estos se producen en el sitio agrícola para el cual se empleará esta máquina de molienda.

Tabla 13*Resultados de funcionamiento*

Materia prima	Cantidad de ingreso	Contextura del producto	Tiempo necesario de molienda	Cantidad de producto procesado
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	240 seg	2.98 lb (1271.76 gr)
		Molienda fina	390 seg	2.93 lb (1340.78 gr)
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	300 seg	2.96 lb (1345.78 gr)
		Molienda media	450 seg	2.94 lb (1335.78 gr)

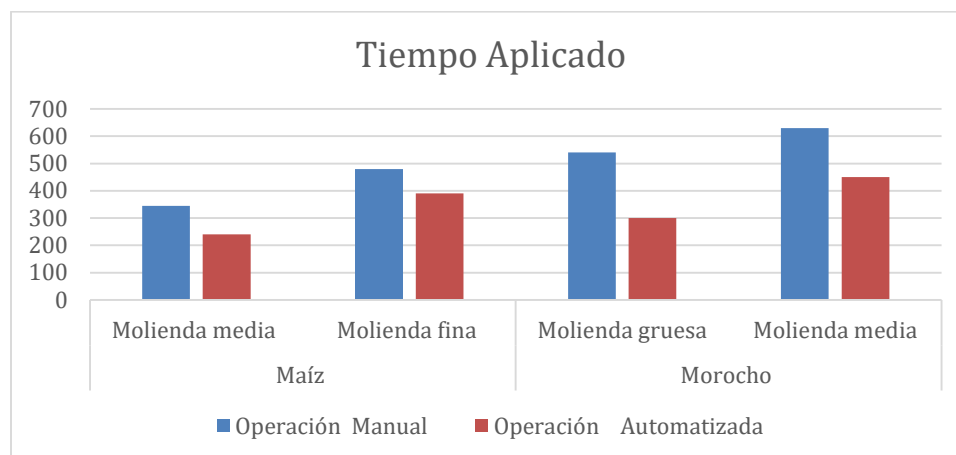
Nota. En la tabla se muestra los resultados del funcionamiento alcanzados que mejoran el proceso de molienda.

De acuerdo a los datos obtenidos, se continua con la realización de las tablas comparativas, entre los tiempos de producción (tabla 14) (figura 59) y las pérdidas de producto en el proceso (tabla 15) (figura 60).

Tabla 14*Tiempos aplicados*

Materia prima	Cantidad de producto	Contextura del producto	Tiempo aplicado	
			Operación Manual	Operación Automatizada
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	345 seg	240 seg
		Molienda fina	480 seg	390 seg
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	540 seg	300 seg
		Molienda media	630 seg	450 seg

Nota. La tabla muestra la comparación de tiempos aplicados para el proceso de la molienda.

Figura 58*Tiempo aplicado*

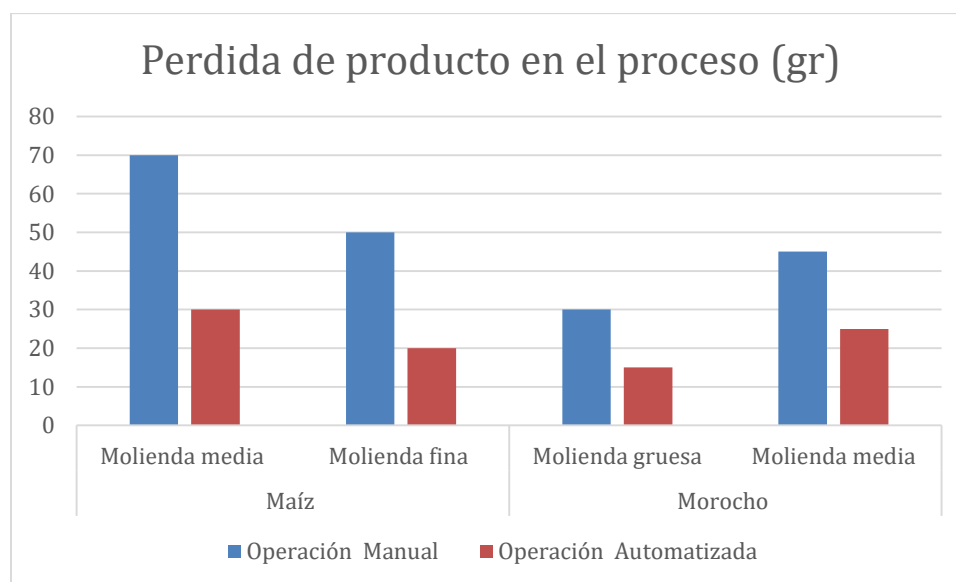
Nota. La figura muestra en el diagrama de barras del tiempo funcionamiento aplicado entre los dos usos.

Se ejecutaron las pruebas de funcionamiento manual del molino como se indica en la tabla 5 donde se muestra los tiempos empleados en moler maíz y morocho, luego se procedió a automatizar el sistema y repetir las pruebas manteniendo las mismas condiciones consiguiendo los resultados de la tabla 14 que muestra los tiempos del proceso manual y el automatizado donde al realizar la comparación básica entre estos dos parámetros se estableció que el tiempo empleado para el proceso de molienda disminuyó, para lo cual se puede demostrar que el caso más notable se evidencia al moler el morocho de forma gruesa, ya que antes se tardaba 540 segundos y ya con el sistema automatizado implementado se logró disminuir a 300 segundos.

Tabla 15*Perdida de producto en el proceso*

Materia prima	Cantidad de producto	Perdida de producto en el proceso		
		Contextura del producto	Operación Manual	Operación Automatizada
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	70 gr por libra	30 gr por libra
		Molienda fina	50 gr por libra	20 gr por libra
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	30 gr por libra	15 gr por libra
		Molienda media	45 gr por libra	25 gr por libra

Nota. La tabla muestra la Cantidad de producto procesado.

Figura 59*Perdida de producto en el proceso*

Nota. La figura muestra la perdida de producto en el proceso.

Se ejecutaron las pruebas de funcionamiento manual del molino como se indica en la tabla 5 donde se muestra los tiempos empleados en moler maíz y morocho, luego se procedió a automatizar el sistema y repetir las pruebas manteniendo las mismas condiciones consiguiendo los resultados de la tabla 15 que muestra la pérdida del producto en el proceso, al realizar la comparación básica entre estos dos parámetros se estableció que la pérdida de

producto en el proceso disminuyo, para lo cual se puede demostrar que el caso más notable es al moler el maíz de forma media, ya que antes se tenía una pérdida de 70 gramos y ya con el sistema automatizado implementado se logró disminuir a 30 gramos.

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Tras la revisión de estado de arte la gran variedad de elementos que pueden ser utilizados para la automatización del sistema de molienda como los identificados en la tesis de Toapanta N. e igualmente las diferentes formas de automatización del proceso encontradas en la tesis de Trujillo L. se logró en este caso automatizar la molienda mediante el uso de sistema semiautomático por medio del uso de contactores y temporizadores para controlar el proceso y mediante uso de pulsadores e indicadores para dar las señales de mando.

Para la automatización del proceso de molienda de forma manual y semiautomática se utilizó un motor monofásico de 1725 RPM el cual mediante el uso de un sistema de transmisión por bandas provee el torque necesario para que funcione proceso de molienda que se controla a través del panel ubicado en el gabinete eléctrico de la maquina mismo facilitando así el uso del operario, además se realizó el análisis mecánico de los elementos mediante el uso de SolidWorks para su validación mecánica determinando la resistencia a la torsión y fluencia del eje.

La automatización de proceso requirió además de una modificación en la estructura del molino el desarrollo de un circuito de control en el cual se empleó contactores, temporizador ON DELAY, relé térmico de protección para el motor, pulsadores para dar las señales de comando de los diferentes procesos e indicadores para poder visualizar el estado de la maquina además de un botón de paro de emergencia para brindar una seguridad adecuada al operario.

A través del desarrollo de las pruebas de funcionamiento se determinó que tiempo de procesado para la molienda manual de granos de 3 lb de maíz de molienda media es de 345 segundos y para una molienda fina de 480, mientras que para la molienda gruesa de morocho de 3 lb es de 540 segundos y para la molienda media de 630 segundos mientras que para el proceso de molienda automatizado es de 240 segundos para la molienda media de maíz y de 390 para la molienda fina de maíz, mientras que para la molienda gruesa de morocho es de 300 segundos y para la molienda media de 450 segundos, así mismo la cantidad de grano molido perdido por libras se redujo por el proceso automatizado además de haber un cambio fue en el consumo de la máquina puesto que esta consume más al realizarse un trabajo de molienda manual.

Recomendaciones

En el mantenimiento de la maquina se sugiere por lo menos una vez al año realizar una limpieza y revisión del sistema transmisión, además de dar una limpieza cada seis meses al panel del control y revisar el estado de sus elementos.

Para la elaboración del circuito de control se recomienda primero realizar una simulación de las conexiones a usarse en la automatización como en este caso se usó cade-simu para luego posteriormente verificar su funcionamiento en cableado del circuito de control.

Antes de que el operario use la maquina se le debe explicar el funcionamiento de la misma, así como el uso de los diferentes usos de los pulsadores he indicadores del panel de control.

Cuando se realiza las pruebas de funcionamiento se debe verificar que todos los elementos de la maquinaria queden completamente asegurados y fijados en su lugar para poder garantizar el correcto funcionamiento de esta.

Bibliografía

Aguilera, P. (2020). *Programación de plc's*. Nuevo León: Universidad autónoma de Nuevo León.

Atom, Á. (01 de 2018). *tecnoflavio15.blogspot.com*. Obtenido de tecnoflavio:
<http://tecnoflavio15.blogspot.com/2020/04/15-tren-de-poleas.html>

Barona y Velasteguí. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *Alpha publicaciones*, 3(3.1). Obtenido de <https://www.alfapublicaciones.com/index.php/alfapublicaciones/article/view/80/281>

Bermeo, D. (2014). Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas. *Universidad de fuerzas armadas ESPE*, 39.

Budynas, Richard G. Nisbett J., y Keith. (2015). *Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley* (10th ed ed.). McGrawHill, Ed.

Cabezas, E. (2017). "Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia en los laboratorios de ingeniería mecánica de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato.". *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*, 48. Obtenido de SUKASA: <https://www.sukasa.com/para-verduras/25063-molino-manual-de-hierro-fundido-para-granos-victoria-3718-1-7707231530018.html>

Carrillo y Calero. (2016). *Automatización del proceso de dosificación, ensacado y control*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Chávez, S. (2015). Creación de una microempresa de acopio y comercialización de granos en la ciudad de Guaranda provincia de Bolívar. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 50-55.

Contreras, E. (2010). Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II. *Universidad industrial de Santander*. Obtenido de WEG: <https://exhibirequipos.com/producto/motor-monofasico-weg-ip21-0-75hp-1800rpm/>

Daysi, O. (2014). Sistema automatizado para el control de flujo de trigo en las tolvas de la empresa molinos miraflores S.A. *Universidad Técnica de Ambato*, 26.

- Esmeraldas, Y. (2019). Diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de pesaje y molienda de materia prima en la producción de alimentos balanceados. *Universidad de las fuerzas armadas ESPE*, 20. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/20829>
- Espino, M. (2019). CONDUCTORES, AISLADORES, SEMICONDUCTORES, SUPERCONDUCTORES ELÉCTRIC. *Universidad Nacional del Cajamarca*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61046341/CONDUCTORES_ELECTRICOS_ESPINO20191028-105975-1I9b862-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1668747561&Signature=ECPQzR4vJykw~0x~4g7d3fbhMbL5mJy5waKhkTb061L9UosdBtw-qILJGa8m~LXdSLrnQuQjdkLlOJIIUS1LZtLfmAWOEcVZfp2Tr
- Farina, A. (2018). Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. *Suplemento instaladores*. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf
- Faubla, A. (2022). Implementación de elementos para prácticas de cableado estructurado para el laboratorio de telecomunicaciones. *Universidad católica de Santiago de Guayaquil*. Obtenido de <https://construyendo.co/electricidad/cable-electrico.php>
- Gavazzi, C. (2019). *Automation components*. Obtenido de *Automation components*: <https://www.gavazzionline.com/CGNA/Home>
- Harutyunyan, Vladimir. (2019). *Los Tipos Comunes de Motores Eléctricos*. Obtenido de *Los Tipos Comunes de Motores Eléctricos*: <https://hvhindustrial.com/es/blog/Tipos-de-Motores-El%C3%A9ctricos>
- Herrera, E. M. (2018). Diseño e implementación de un sistema de control distribuido para el área. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 22.
- Higuera, C. (2020). *EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA*. *Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9085/1592_e_4%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Méndez y Orellana. (2018). Diseño y construcción de un molino de martillos. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA TRITURADOR DE 15 qq/h DE MINERAL PÉTREO PARA PRODUCIR BIOFERTILIZANTES*, 29-32.

- Naranjo, Moyano, Padilla Y Santillán. (2019). Análisis y diseño de un molino eléctrico de granos económico para PYMES. *Ciencia digital*, 3(2). Obtenido de <https://www.cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/387/835>
- Núñez, E. (2015). Diseño y construcción de una máquina molduradora de puntas para la empresa bigbamboo. *Univerisdad De Fuerzas Armadas ESPE*, 50. Obtenido de bohman: <https://bohman.com.ec/shop/product/chumacera-de-piso-completa-de-2-huecos-kdf-13469#attr=11138>
- Palacios, B. (2021). *Manual Motores*. España: Edisatech.
- Pérez, M. (2014). Molino electrico de granos. *slideshare*, 18.
- Ramos, L. (2018). *Materiales conductores eléctricos*. Obtenido de Materiales conductores eléctricos: <https://como-funciona.co/materiales-conductores-electricos/>
- Rivera, D. (2009). ANALISIS DE CHUMACERAS HIBIRDADS CON PUERTAS. *Instituto Politecnico Nacional*. Obtenido de skf: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-RLS%208>
- Saltos, Maricel, de la Rosa, y Villacrés. (2020). Análisis de los niveles de automatización de los procesos industriales. *Centro Sur. Social Science Journal*, 4(2). Obtenido de <https://centrosureditorial.com/index.php/revista/article/view/61>
- Sanchez y Pizarro. (2020). Diagnóstico del nivel de automatización en las pequeñas y medianas industrias de la ciudad de cuenca. *Ingenius, Revista de Ciencia y Tecnología*, 29.
- Since, V. (21 de 05 de 2021). *victoria.com.co*. Obtenido de MU Mecánicos Unidos S.A.S: <https://victoria.com.co/blog-como-funciona-un-molino-de-maiz/>
- Toapanta, N. (2021). Automatización de un molino de granos secos para optimizar el proceso de molienda en la Granja Agroecológica "Familia TC". *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 110-115.
- Transmisiones, L. (11 de 2022). *lauciricatransmisiones.es*. Obtenido de <https://lauciricatransmisiones.es/elementos-de-transmision/>

Trujillo, L. (2013). *MOLINO ELÉCTRICO CASERO*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3373/1/T-UCE-0010-408.pdf>

Valdiviezo, L. (2018). SISTEMATIZACIÓN DE DISEÑO DE MOLINOS DE MARTILLOS FIJOS PARA GRANO. *Universidad de Piura*, 48-54.

Anexos