



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**REDISEÑO DE UN MOLINO ELÉCTRICO USADO PARA ELABORAR MASA
PARA HUMAS CON ACOPLAMIENTO DE UNA BATIDORA**

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

AUTOR: Cristian Andrés Moreta Sánchez

TUTOR: Fabio Eduardo Obando Herrera

Quito - Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, CRISTIAN ANDRÉS MORETA SÁNCHEZ, con cédula de ciudadanía N° 1721478376,
manifiesto que:

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

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian M', is written over a horizontal line.

Cristian Andrés Moreta Sánchez

1721478376

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

Yo, CRISTIAN ANDRÉS MORETA SÁNCHEZ, con documento de identificación N° 1721478376, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana, la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que soy el autor del dispositivo tecnológico: “Rediseño de un molino eléctrico usado para elaborar masa para humas con acoplamiento de una batidora”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian A. M.', is written over a horizontal line.

Cristian Andrés Moreta Sánchez

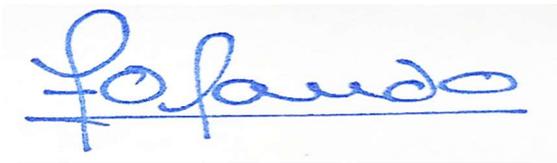
1721478376

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera con documento de identificación N°: 1707982169 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi autoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDISEÑO DE UN MOLINO ELÉCTRICO USADO PARA ELABORAR MASA PARA HUMAS CON ACOPLAMIENTO DE UNA BATIDORA, realizado por Cristian Andrés Moreta Sánchez con documento de identificación N°: 1721478376, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, MsC

1707982169

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a toda la comunidad de la Universidad Politécnica Salesiana, en especial a todos los docentes que han brindado su conocimiento y guía en el transcurso del proyecto y la vida universitaria.

A mi tutor del proyecto Ing. Fabio Obando, quien con su predisposición y guía fue indispensable para la culminación del proyecto de titulación.

Cristian Andrés Moreta Sánchez

DEDICATORIA

A mi querida madre, por el apoyo incondicional, quien, con su sacrificio y ejemplo de perseverancia, ha sido mi pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mis familiares que siempre me han brindado sus consejos y su apoyo, para jamás darme por vencido.

A mi hermana, por su amor, ayuda, comprensión y por cada momento de felicidad compartida.

Cristian Andrés Moreta Sánchez

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	xvii
OBJETIVO GENERAL	xix
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	xix
CAPÍTULO 1.....	1
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.....	1
1. Marco teórico	1
1.1. La humita.....	1
1.2. Molino eléctrico.....	2
1.3. Batidora	4
1.4. Motor eléctrico	4
1.6. Transmisión de Potencia.....	10
1.7. Materiales para construcción.....	11
1.9. Sistema de control	13
1.9. HMI	15
1.10. TRANSDUCTOR DE PESO.....	15
CAPÍTULO 2.....	17
ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	17
INTRODUCCIÓN	17

2.1. Modelo base.....	17
2.2. Análisis de los controladores.....	17
2.3. Sistema de transferencia de potencia.....	20
2.4. Análisis y selección de materiales.....	22
2.5. Análisis y elección de sensores de peso.....	23
2.6. Análisis para el acoplamiento de la batidora.....	25
CAPÍTULO 3.....	27
REDISEÑO.....	27
INTRODUCCIÓN.....	27
3.1. Diseño del dispositivo.....	27
3.2. Diseño de la Tolva de almacenamiento.....	28
3.3. Rediseño del eje para el tornillo extrusor.....	30
3.4. Rediseño del tornillo extrusor.....	32
3.5. Diseño del sistema de transmisión de potencia.....	36
3.6. Diseño de la rampa.....	38
3.7. Diseño del control de regulación de velocidad del motor WEG.....	38
3.8. Diseño del sistema de control.....	40
3.9. Esquema de flujo del funcionamiento de la máquina.....	43
3.10. Diseño de la interfaz principal HMI.....	45
3.11. Diagrama de flujo del HMI.....	46
CAPÍTULO 4.....	48
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	48
INTRODUCCIÓN.....	48
4.1. Simulación del eje para el tornillo.....	48

4.2. Simulación de la estructura de la máquina	49
4.4. Simulación de la tolva	52
4.5. Simulación de la rampa	53
4.6. Simulación de la máquina.....	54
4.8. Estudio económico de la máquina	58
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	68
ANEXO 1.....	68
ANEXO 3.....	69
BLOQUES DE PROGRAMACIÓN.....	69
ANEXO 4.....	73
PLANOS MECÁNICOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humitas antes de la cocción.	1
Figura 2. Molino de Discos [4].	2
Figura 3. Esquema de un molino de rodillos [5].	3
Figura 4. Molino de rodillos [5].	3
Figura 5. Molino de martillos [6].	4
Figura 6. Motor eléctrico [9].	5
Figura 7. Devanado estático de dos polos para cambio de polos [12].	7

Figura 8. Curva característica par-velocidad para todas las frecuencias [12].....	8
Figura 9. Curvas par-velocidad para velocidades por debajo de la velocidad base, suponiendo que el voltaje de línea disminuye linealmente con la frecuencia [12].....	9
Figura 10. Variador de frecuencia [13].....	9
Figura 11. Transmisión mediante banda [18].	10
Figura 12. Transmisión mediante cadenas [20]	11
Figura 13. Autómata programable [25].	13
Figura 14. SIMATIC HMI de Siemens [28].....	15
Figura 15. Transmisor de células de carga [29].....	16
Figura 16. Imagen referencial, de la máquina que se dispone.	17
Figura 17. Vista de la máquina general	27
Figura 18. Dimensiones de la tolva de almacenamiento.....	29
Figura 19. Diagrama de cargas para el eje del tornillo.	30
Figura 20. Diagrama de momentos para el eje del tornillo.....	31
Figura 21. Eje para el husillo dimensionado.....	32
Figura 22. Detalles de un tornillo extrusor dentro del barril [30].....	32
Figura 23. Diseño de hélice	35
Figura 24. Diseño del diente para el tornillo.....	35
Figura 25. Tornillo de extrusión para humas	35
Figura 26. Software para selección de cadena para transmisión.	36
Figura 27. Configuración del piñón para el tornillo	37
Figura 28. Configuración del piñón conductor	38
Figura 29. Dimensiones de la rampa.....	38
Figura 30. Motor monofásico WEG ½ HP.	39
Figura 31. Diagrama esquemático eléctrico.....	41

Figura 32. Representación del diagrama de control.....	42
Figura 33. Representación del diagrama de potencia.	42
Figura 34. Diagrama de flujo del proceso de molido y batido.....	44
Figura 35. Interfaz de inicio HMI.....	45
Figura 36. Interfaz de adquisición de datos	46
Figura 37. Diagrama de flujo HMI	47
Figura 38. Análisis de tensiones en el eje.	48
Figura 39. Análisis de desplazamientos en el eje	49
Figura 40. Factor de seguridad en el eje	49
Figura 41. Tensión de la estructura [<i>kgf/cm²</i>].	50
Figura 42. Análisis de desplazamiento en la estructura.....	51
Figura 43. Factor de seguridad de la estructura.	51
Figura 44. Análisis de desplazamiento de la tolva de almacenamiento.....	52
Figura 45. Análisis de factor de seguridad de la tolva de dosificación.....	53
Figura 46. Análisis de desplazamiento de la rampa.....	53
Figura 47. Análisis de factor de seguridad en la rampa.	54
Figura 48. Simulación del proceso de molido a 50 lb.....	54
Figura 49. Tiempo de molienda a 50 lb.	55
Figura 50. Peso vs tiempo proceso de molienda.....	56
Figura 51. Simulación del proceso de batido.....	57
Figura 53. Tamaños preferidos para seleccionar [19].....	68
Figura 54. Bloque 1 de programación.....	69
Figura 55. Bloque de programación 2.....	70
Figura 56. Bloques de programación 3 y 4.	70
Figura 57. Bloques de programación 5,6 y 7.	71

Figura 58. Bloques de programación 8 y 9..... 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales utilizados en la industria alimenticia [21].	12
Tabla 2. Características del PLC S7-1200 1214C [26].	14
Tabla 3. Características del PLC LOGO DM8 24 [27].	14
Tabla 4. Análisis de alternativas de controladores.	18
Tabla 5. Sistema de calificación para el controlador	19
Tabla 6. Matriz de selección de la alternativa de controladores	19
Tabla 7. Análisis de alternativas de transmisión de potencia	20
Tabla 8. Sistema de calificación para la transmisión de potencia.	21
Tabla 9. Matriz de selección de la alternativa de transmisión de potencia.	21
Tabla 10. Sistema de calificación para las alternativas de los materiales.	22
Tabla 11. Matriz de selección de las alternativas de materiales	22
Tabla 12. Análisis de alternativas para el sensor de peso	23
Tabla 13. Sistema de calificación para el sensor de peso	24
Tabla 14. Matriz de selección de las alternativas de sensores	24
Tabla 15. Análisis de alternativas para el acople entre el proceso de molido y batido	25
Tabla 16. Sistema de calificación para el acople entre proceso de molido y batido.	26
Tabla 17. Matriz de selección de la alternativa del acople	26
Tabla 18. Partes de la máquina	28
Tabla 19. Parámetros característicos para el diseño del tornillo extrusor.	34
Tabla 20. Datos para la cadena y piñones obtenidos en Renold Chain Selector	37
Tabla 21. Características y descripción del motor	39
Tabla 22. Características del variador de frecuencia CFW300.	40
Tabla 23. Cargas a considerar para el análisis de la estructura.	50

Tabla 24. Tiempos de molienda.....	55
Tabla 25. Tiempos de batido.....	57
Tabla 26. Análisis de costos de elementos mecánicos y materiales	58
Tabla 27. Análisis de costos de elementos eléctricos y control.....	59
Tabla 28. Costo total de la máquina.....	59
Tabla 29. Datos necesarios para el cálculo del VAN y TIR.....	60
Tabla 30. Cálculos de VAN y TIR.....	60

RESUMEN

El presente trabajo de titulación es el rediseño de un molino eléctrico y el acoplamiento de una batidora, con el fin de optimizar tiempos de procesamiento en un emprendimiento de humitas, en el proceso de molido de la materia prima que es el grano de choclo y posteriormente el proceso de batido de la masa, el cual el último proceso tiende a provocar fatiga en el operario. Para satisfacer esta necesidad se investiga, y se plantea parámetros para el rediseño de diferentes elementos del molino, con el fin de reducir tiempos de molienda, por medio de sensores, actuadores y un autómatas programable, permita el ajuste de tiempos y control de los procesos,

Se aborda conceptos relacionados con el funcionamiento del equipo. Se llevaron a cabo cálculos para la selección de dimensiones y análisis de materiales adecuados para el diseño, teniendo en cuenta factores como la resistencia, la resistencia a la corrosión, de igual manera partiendo del dato del motor que se dispone de la máquina, se selecciona el autómatas programable, esquema de conexiones de la máquina, diagrama de control y potencia.

El resultado de la investigación de este trabajo de titulación es una máquina semi automatizada en base al rediseño de algunos elementos mecánicos para mejorar la producción en términos de tiempos, ofreciendo una alternativa de diseño segura.

Palabras clave: Rediseño, molino eléctrico, batidora, molido, batido, control, producción.

ABSTRACT

The present thesis work involves the redesign of an electric mill and the coupling of a mixer, in order to optimize processing times in a humitas business. This optimization focuses on the grinding process of the raw material, which is corn kernels, and subsequently the mixing process, which tends to cause fatigue in the operator. To meet this need, research is conducted and parameters are proposed for the redesign of various elements of the mill. This includes the use of sensors, actuators, and a programmable controller to reduce grinding times and control the processes.

The functioning of the equipment is addressed, and calculations are performed to select appropriate dimensions and analyze suitable materials for the design. Factors such as strength and corrosion resistance are taken into account. Based on the available motor data, a programmable controller is selected, along with the machine's connection scheme, control diagram, and power requirements.

The result of this thesis research is a semi-automated machine based on the redesign of some mechanical elements to improve production in terms of time, providing a safe design alternative.

Keywords: Redesign, electric mil, mixer, grinding, beating, control, production.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de productos a base de granos es altamente consumidos debido que es una golosina, pero la elaboración se ha ido mejorando mediante la automatización de procesos para la optimización de tiempos y esfuerzos que una persona le cuesta realizar. Se propone el rediseño de un molino eléctrico el cual tiene como fin la reducción de tiempos muertos y el acople de una batidora con el fin de reducir fatigas en el operario.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo dar a conocer el proceso de rediseño de la máquina. Se han realizado cálculos y análisis que respaldan el proceso de diseño, mediante simulación por software, asegurando de esta manera un funcionamiento en la carga sin que sufra fallas en el funcionamiento.

En el documento se presenta los detalles que caracterizan el funcionamiento de la máquina, como la capacidad de materia a procesar, las dimensiones, la selección, el dimensionamiento, el sistema de control basado en un autómata programable y una interfaz para el trabajo del equipo. El dispositivo de molido y batido de dimensiones rediseñadas desarrollada en este proyecto de titulación se plantea una solución de rediseño para satisfacer las necesidades del en el emprendimiento, para de esta manera brindar un aumento de productividad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El negocio de las humitas es un trabajo muy demoroso por la implicación de todo el proceso de obtención del grano de maíz (choclo), para luego ser procesado hasta la obtención de dicho producto, en el mercado competente se debe tener en cuenta el tema de tiempos de elaboración por la demanda de la humita. De esta manera se exponen los dos problemas relacionados a la eficacia de un molino eléctrico y la ergonomía del elaborador.

El molino eléctrico cumple con su tarea, pero de manera ineficiente, teniendo como consecuencia tiempos muertos ya que el operador tiene que estar pendiente de la máquina para que no falte el grano de maíz en la tolva y evitar que a la falta de materia los elementos mecánicos que procesan del maíz, se dé una fricción entre componentes y evitar el desgaste de la máquina. Además, al obtener la masa neta de maíz se requiere de un subproceso como es la mezcla de especias y hacerlo de manera manual se llegan a tener problemas como lesiones leves a causa del movimiento y la posición para la mezcla de la masa, hay que tener en cuenta que es un proceso el cual debe ser llevado hasta tener una consistencia homogénea entre la masa y las especias.

JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la problemática que se presenta en el emprendimiento de la elaboración de productos derivados del maíz, lo que se busca es realizar un rediseño de la máquina actual, buscando mejoras y cambiando partes del herramental para buscar una eficacia al momento de realizar el proceso el cuál esté a disposición de la materia prima y más no a la del operador en su totalidad.

Para evitar las fatigas y lesiones en el elaborador de las humitas, se va a realizar un acople de una batidora el cual va a realizar el proceso de mezclar de manera homogénea la masa del choclo y las diferentes especias que esta conlleva, todo este proceso se lo realizara por un tiempo determinado.

Una vez concluido este proceso la masa estará lista para la manipulación de la masa y dar forma al producto final, evitando grandes esfuerzos por parte del operador y obteniendo mayor ganancia por la mayor elaboración de productos para ofertar al público.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Rediseñar un molino eléctrico usado para la elaboración de masa para humas con acoplamiento de una batidora.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso teórico de la elaboración de humas, para establecer parámetros de diseño.
- Rediseñar los componentes mecánicos y electrónicos, optimizando el proceso de molienda.
- Comprobar mediante simulación con software de ingeniería el diseño de los elementos críticos de la máquina.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

Se detalla continuación los conceptos y fundamentación teórica, necesarios para que el lector comprenda y tenga una idea del tema a tratar.

1. Marco teórico

1.1.La humita

Es un producto alimenticio muy típico, por lo general en los países interandinos, pero en Ecuador, este derivado del choclo tiene distintos métodos e ingredientes, dependiendo de las diferentes tradiciones familiares, esto puede influir en el aumento de ingredientes o en la disminución de los mismos, pero aquí se presenta los más utilizados como el maíz o choclo que este es la materia prima principal, la cebolla paiteña, el ajo, huevos; una vez preparada la masa se procede a envolver en hojas de choclo teniendo en cuenta que en su interior conlleva queso como se presenta un la figura 1, una vez envueltas, se someten a cocción al vapor durante un tiempo determinado, para ser servido al público y ser consumida [1].



Figura 1. Humitas antes de la cocción.

1.2.Molino eléctrico

La máquina, está compuesta de diferentes elementos mecánicos y componentes eléctricos que facilitaran el trabajo de molienda del grano de choclo, de esta manera evitando el proceso manual de un operador para realizar el proceso de moler [2].

1.2.1. Molino de discos

El molino que se presenta en la figura 2, tiene un funcionamiento basado en el molino ancestral de piedra, en el cual su funcionamiento se basa en la trituración en función de una piedra sobre la otra. En el caso del molino de discos metálicos el método es el mismo, pero hay que tener en cuenta que se pueden encontrar molinos con discos en sentido vertical u horizontal [3].



Figura 2. Molino de Discos [4].

1.2.2. Molino de rodillos

Este tipo de molino que se evidencia en la figura 4 son muy utilizados para el procesado de la mayoría de los cereales, en el cual el grano es depositado en una tolva y mediante dos rodillos metálicos que son activados por un motor eléctrico los cuales tienen giros opuestos y a gran velocidad para llevar a cabo el proceso de molienda como se evidencia en la figura 3. Se debe tener en cuenta que la rugosidad de estos rodillos está condicionada por el grano a procesar [3].

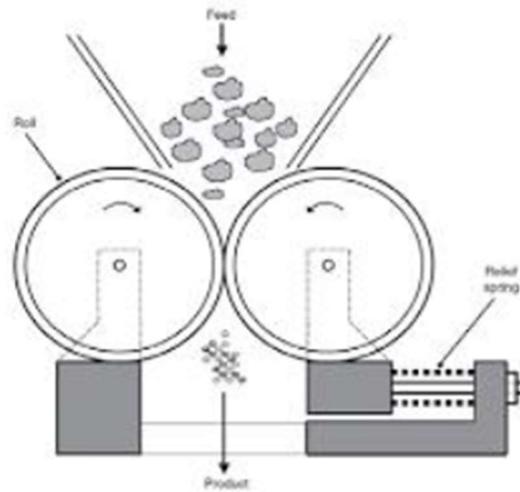


Figura 3. Esquema del proceso de trituración [5].



Figura 4. Máquina de rodillos [5].

1.2.3. Molino de martillos

Esta máquina conlleva en su interior un eje en el cual se encuentran una serie de martillos ya sean fijos u oscilantes como se evidencia en la figura 5, estos giran con gran rapidez haciendo que este tipo de mecanismo golpee y triture el grano de una manera más rápida [3].



Figura 5. Mecanismo de martillos [6].

1.3. Batidora

Es un electrodoméstico de corriente continua la cuál ayuda al uso en el hogar, de esta manera supliendo el trabajo manual de una persona. Pero en este caso el enfoque es en la batidora industrial, como su nombre indica está enfocada en el ámbito industrial debido a que mejora en su producción en el sentido de elaborar mayor masa, una mayor homogeneidad y textura en la misma [7].

1.3.1. Batidora en espiral

El agitador u batidora en espiral, hace que el tazón en espiral se mueva, mientras el agitador permanece en su lugar. A estas máquinas también se les denomina ensacadoras o tres ensacadoras, debido a la cantidad de bolsas de harina o masa que pueden contener [11].

1.4. Motor eléctrico

El actuador que se presenta en la figura 6, convierte la fuerza eléctrica en potencia motriz, la cual es transmitida a los demás elementos mediante un eje, el cual, gracias a los diferentes componentes como las poleas o catarinas, pueden generar impulsos en ciertas partes de la máquina para el cual se encuentran conectados [8].

Este actuador es uno de los dispositivos más utilizados en la industria debido a su

versatilidad, por su fácil regulación, siendo estas características unas de las más influyentes para su aplicación en procesos automatizados [2].



Figura 6. Motor eléctrico [9].

Los motores eléctricos se clasifican en [10] :

Corriente continua:

- Derivación
- Serie
- Compuesto
- Independiente

Corriente alterna:

- Asíncronos
- Síncronos

1.4.1. Motores Asíncronos

Están basados en el principio de un campo imantado aplicado al rotor, esto se debe a la circulación alterna de corriente en el estator, hay que tener en cuenta que estos motores se subdividen en dos [10].

1.4.3. Regulación de velocidad para motores AC

Normalmente existen maneras a fin de variar la celeridad de un motor AC, un método es por la alteración del deslizamiento en el actuador tomando en cuenta la carga propuesta, y otra alternativa es por variación de la velocidad sincrónica, la cual se presentan a continuación las diferentes maneras de control de velocidad [11].

1.4.4. Variar la frecuencia eléctrica

Este tipo de motores giran a una velocidad menor que la celeridad sincrónica del campo en movimiento rotacional. Esta rapidez sincrónica está en función del total de polos que se encuentran en el estator y la regularidad (frecuencia) de voltaje aplicado de AC [11].

$$n_{sinc} = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Donde:

f : frecuencia de línea

p : número de polos

1.4.5. Cambio de número de polos

En este método se puede presentar dos maneras para variar la velocidad y es por polos consecuentes y por devanados de estator múltiples. Estos motores al regular los polos se presenta un funcionamiento aceptable de manera relativa, estos actuadores son diseñados para este tipo de métodos, esta variación se la puede realizar de manera manual o automática, se presenta en la figura 7 el estator de un actuador de dos polos que se somete al método mencionado [11].

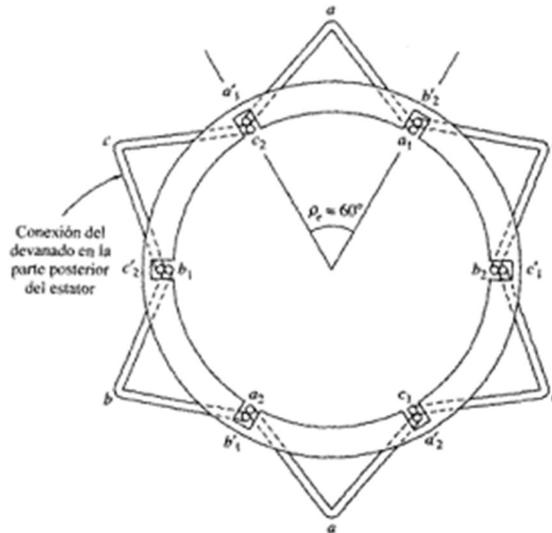


Figura 7. Bobinado del estator dos polos [12].

1.4.6. Regulación de la resistencia del secundario

Para obtener la variación en este método se inserta una resistencia rotórica la cual producirá un incremento en el deslizamiento de dicho motor, se debe tener en cuenta las características que incluye este proceso [11].

- Regulación de celeridad.
- Operación simple.
- Costo inicial y bajo mantenimiento.
- Bajo rendimiento.
- Regulación deficiente

1.4.7. Control de voltaje de línea

Se debe considerar que, en una carga específica, al reducir el voltaje, disminuirá el par, produciendo un incremento al deslizarse. En este método se debe tener en cuenta que, es primordial que el torque aplicado baje de manera considerable al reducir el voltaje y la velocidad, para poder tener un funcionamiento parcialmente cargado en un motor [11].

1.5.7. Regulación de frecuencia de línea

En este método se puede regular la celeridad mediante un controlador de frecuencia variable, la cual estará por encima o debajo de la rapidez base que cada motor presente, tal como se muestra en la figura 8, la celeridad base mecánica es 1800 r.p.m. [11].

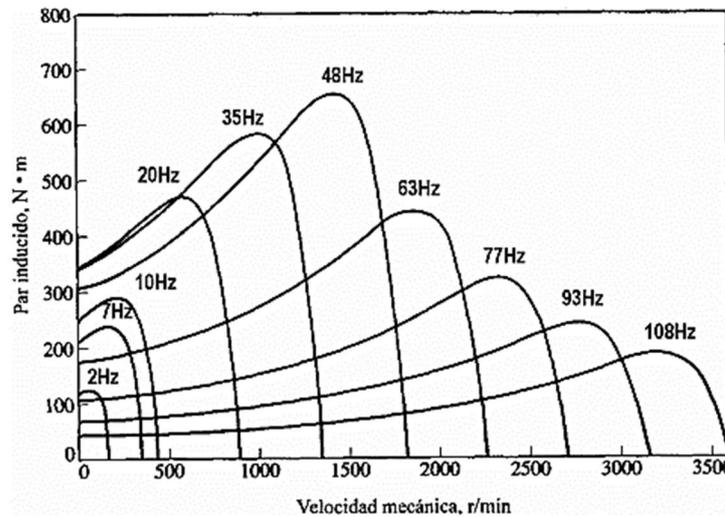


Figura 8. Curva característica par-velocidad para todas las frecuencias [12].

1.5.8. Control mediante relación voltaje/frecuencia.

En este método el voltaje que se aplica en las terminales del estator se debe reducir de manera lineal a la par de la frecuencia, de no hacerlo se produce una saturación en el acero del actuador y se presentarán corrientes excesivas. En los casos que la variación del voltaje como la frecuencia sea lineal, si se sitúa por debajo de la celeridad estándar, el flujo se mantendrá invariante como se observa en la figura 9 [11].

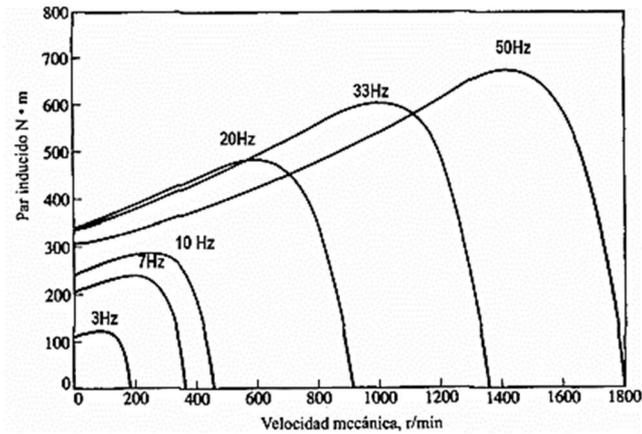


Figura 9. Curvas par inducido-velocidad [12].

1.5.9. Variadores de frecuencia

Estos variadores o también conocidos como convertidores como el que se evidencia en la figura 10, son dispositivos que tienen como fin la regulación de los actuadores de inducción, mediante el control de la frecuencia[13].

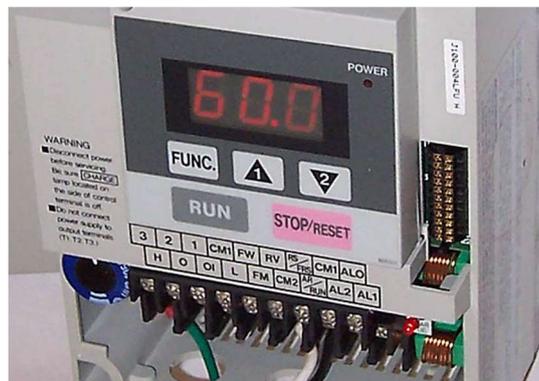


Figura 10. Variador de frecuencia [13].

Existen diferentes tipos de variadores de frecuencia, tales como:

- Corriente alterna.
- Corriente directa.
- Voltaje de entrada.
- Fuentes de entrada.
- Ancho de pulso modulado.

- Vector de flujo de ancho de pulso modulado.

Una de las ventajas de usar estos dispositivos es el ahorro energético y la protección de los actuadores, para prolongar su vida útil.

1.6. Transmisión de Potencia

Técnica para enviar energía desde una fuente a un dispositivo para generar movimiento, hay que tener en cuenta que mediante una relación ya sea a través de poleas, bandas, piñones, etc. Con esto se puede reducir o incrementar la velocidad y el torque [14].

1.6.1. Transmisión mediante bandas

Son instrumentos formados por bandas, piñones y poleas, donde la fuerza de rozamiento existente entre los elementos mecánicos [15]. En la figura 11 se evidencia un conjunto de transmisión el cual consta de dos piñones y una correa.

Las propagaciones en fricción pueden ser elaboradas por los siguientes tipos de correas: plana, en V, multiranuradas, redonda y cuadrada [16].

Uno de los conceptos más utilizados en la conducción por correa, es la relación que existe en la transmisión, donde la correa por ser una banda continua, esta tendrá el mismo módulo de velocidad en cualquiera de los puntos de contacto. Teniendo como fin la relación en función de una fórmula matemática [17].

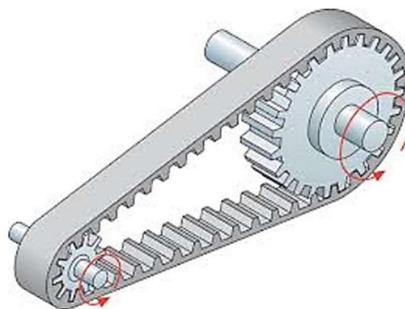


Figura 11. Transmisión mediante banda [18].

1.6.2. Transmisión mediante cadenas

Son mecanismos formados mediante cadenas y ruedas dentadas como se evidencia en la

figura 12, cuya función es transferir un movimiento de rotación de un eje a otro que se encuentran en paralelo, mediante la interacción entre las catarinas y la cadena [15].

La relación de transmisión por cadena incluye una sinergia constante puesto que no se involucra al arrastre ni al desplazamiento [19].



Figura 12. Transmisión mediante cadenas [20]

1.7. Materiales para construcción

En la industria alimenticia existen varios materiales que son utilizados para la construcción de maquinaria, utensilios que son requeridos en este ámbito, estos son regulados por entidades de sanidad para verificar que sean los adecuados, en la siguiente tabla 1 se detallan algunos materiales.

Tabla 1. Aceros utilizados en la industria alimenticia [21].

Denominación	Descripción	Aplicaciones
Acero AISI 304	Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión del agua, ácidos, pierde propiedades al someterse a un tratamiento térmico.	Industrias alimenticias, cervecera, utensillos domésticos, farmacéutica.
Acero AISI 430	Presentan una estructura ferrítica estable hasta el punto de fusión, este acero es resistente a la corrosión moderadamente, magnéticos, poca soldabilidad, pierde sus propiedades ante la soldadura.	Desagües, mostradores, campanas de cocina, cubiertos, equipo para restaurantes
Acero AISI 201	Acero al cromo, magnesio, níquel con excelentes propiedades a la tensión, presenta buena resistencia a la corrosión y agentes corrosivos, pierde sus propiedades con la soldadura.	Utensillos con embuticiones, línea de cocina, artículos para calentar alimentos, dispensador de bebidas.

El acero inoxidable es un material que presenta características excelentes ante agentes como la oxidación y la corrosión, debido a la presencia de metales menos reactivos. Así mismo poseen la capacidad para resistir altas temperaturas, además de poseer cualidades que lo hacen un versátil y maleable, también se puede tener perfectos acabados y muy atractivos, de muy buen prestigio [22].

Para poder mejorar las diferentes propiedades mecánicas una de las mejores vías es el conformado en frío, en específico el límite elástico, la reducción de la sección [23].

1.9. Sistema de control

1.8.1. PLC

El PLC (Control Lógico Programable), autómata programable empleado en ámbitos de automatización, este autómata es una computadora industrial que tiene como fin que las máquinas trabajen todos los sistemas que lo componen. El PLC que se presenta en la figura 13, es un dispositivo que realiza tareas de lectura de sensores, y envía señales para el manejo de actuadores, se debe tener en cuenta que cada PLC tiene características definidas en cada modelo [24].



Figura 13. Autómata programable [25].

1.8.2. PLC 1200 1214C

La tabla 2 muestra las especificaciones del controlador S7-1200.

Tabla 2. Especificaciones del PLC S7-1200 1214C [26].

Tensión de alimentación AC	120 – 230 V
Tensión admisible AC	85 – 264 V
Frecuencia de red	47 – 63 Hz
Consumo	80 mA con 120 V; 40 mA con 240 V
Alimentación de sensores	20,4 a 28,8 [V]
Memoria de trabajo	100 kbyte
Memoria de carga	4 Mbyte
Entradas digitales	14
Salidas digitales	10; Relé
Entradas analógicas	2
Rango de tensiones entradas analógicas	0 – 10 [V]
Salidas analógicas	0
Interfaz	PROFINET
Protocolos	PROFINET
Protocolos Ethernet	TCP/IP, SNMP, DCP, LLDP

1.8.3. PLC LOGO

La tabla 3 muestra las especificaciones del autómata LOGO.

Tabla 3. Especificaciones del PLC LOGO DM8 24 [27].

Tensión de alimentación DC	24 V
Tensión admisible DC	20,4 – 28,8 V
Frecuencia de red	10 Hz
Consumo	2,1 mA
Entradas digitales	4
Salidas digitales	4; relé

1.9. HMI

El HMI (Human-Machine Interface), es una interfaz entre la máquina y el operario en el cual se puede visualizar procesos en tiempo real y también se puede ajustar diferentes parámetros para que una máquina cumpla una tarea de manera que se requiera. Los operarios y supervisores en línea emplean esta herramienta con el fin de gestionar los procesos industriales [28].

En la figura 14 se presenta el HMI de Siemens la cual ayuda al control de la máquina mediante parámetros que establece un operador.

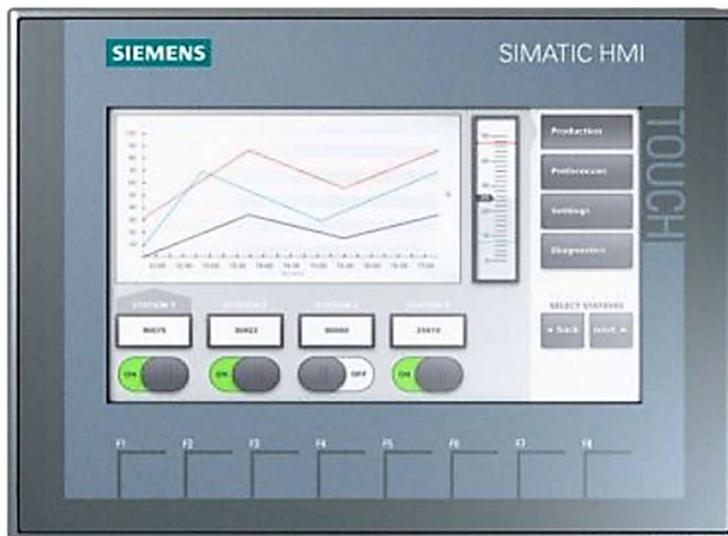


Figura 14. SIMATIC HMI de Siemens [28].

1.10. TRANSDUCTOR DE PESO

Son dispositivos utilizados para amplificar la señal de salida del sensor, regula su voltaje interno, además tiene la funcionalidad de convertir la mecánica en una señal de corriente para poder ser ingresada y controlada por un controlador.

En la figura 15 se presenta el transductor de peso, el cual ayudará a la conexión directa con un autómata programable.

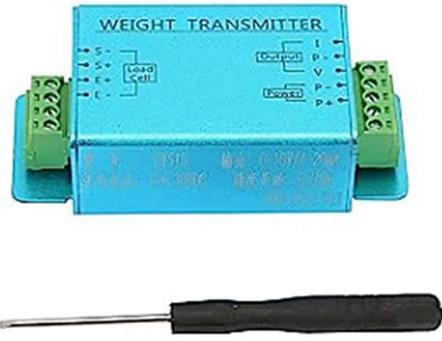


Figura 15. Transmisor de células de carga [29].

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la investigación de los diferentes sistemas y materiales para un proceso óptimo de molienda, y un sistema para el ajuste de parámetros. Las alternativas que se presentan a continuación son basadas en los requerimientos del usuario, además se analizarán ventajas y desventajas de cada opción.

2.1. Modelo base

En la figura 16 se presenta el prototipo que se dispone el cual va a ser sometido a rediseño, como es: el sistema de transferencia de energía mecánica, el tornillo transportador, la tolva, y el diseño del sistema electrónico para la regulación del desempeño de la máquina con el acoplamiento de la batidora. En los siguientes puntos se presenta las alternativas que se plantean en base a la máquina que se dispone.



Figura 16. Imagen referencial, de la máquina que se dispone.

2.2. Análisis de los controladores

Para la elección del controlador adecuado se analiza en la tabla 4 que alternativa es la más adecuada para ser usado en el proyecto.

Tabla 4. Análisis de alternativas de controladores

Alternativa	Nombre	Ventajas	Desventajas
1	PLC 1200	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente pequeño y compacto • Programación sencilla • Comunicación versátil • Amplia variedad de módulos de extensión • Rendimiento confiable y respuesta rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada de entradas y salidas • Poder de procesamiento relativamente bajo • Funcionalidad reducida • Relativamente caro
2	PLC LOGO	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño compacto y ocupa poco espacio • Programación sencilla • Precio asequible • Amplia gama de funciones • Comunicación limitada 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada de entradas y salidas • Potencia de procesamiento limitada • Limitación de expansión • Recursos de programación limitados
3	Arduino Uno	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de usar • Tamaño pequeño • Amplia comunidad y documentación • Precio asequible • Versátil y compatible con la mayoría de los componentes eléctricos • Código abierto 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos limitados • Inadecuado en aplicaciones industriales • Conectividad limitada • No apto para aplicaciones críticas • Limitación de expansión

A partir de las alternativas planteadas se establecieron diferentes criterios los cuales se presentan en la tabla 5, que permitirán la selección del controlador.

Tabla 5. Criterios de calificación del controlador

CRITERIOS PARA EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-7	8-10
Costo	Elevado	Normal	Bajo
Facilidad de montaje	Difícil	Normal	Fácil
Asequible	No existe	Existe muy poco	Existe siempre
Funcionalidad	Mala	Buena	Excelente
Tamaño	Grande	Mediana	Pequeña
Aplicación industrial	No es apto	Relativamente apto	Apto

Tomando en cuenta los criterios establecidos con su respectiva equivalencia, en la tabla 6 se procede a calificar cada alternativa.

Tabla 6. Matriz de selección de la alternativa de controladores

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	7	9	10
Facilidad de montaje	9	9	10
Asequible	9	9	10
Funcionalidad	9	7	6
Tamaño	8	9	8
Aplicación industrial	9	6	2
SUMATORIA	51	49	46

Con los resultados de la tabla 6, se evidencia que la opción 1 con una calificación de 51 es la mejor alternativa, donde su funcionalidad y aplicación industrial son primordiales para la selección.

2.3. Sistema de transferencia de potencia

Para el mecanismo de transferencia se analizó las siguientes alternativas, planteadas en la tabla 7, donde de igual manera se presenta la transmisión, sus ventajas y desventajas.

Tabla 7. Análisis de alternativas de transmisión de potencia

Alternativa	Transmisión	Ventajas	Desventajas
1	Mediante bandas	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad, para adaptarse a diferentes configuraciones • Absorción de choques y vibraciones • Reducción de ruido • Bajo costo • Transmisión de energía eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede presentar deslizamientos con cargas altas • Limitación de velocidad y carga • Vida útil limitada
2	Mediante cadena	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de carga alta • Precisión alta, transferencia constante • Alta eficiencia • Larga vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruido y vibraciones considerables • Ocupa mayor espacio • Costo elevado

A partir de las alternativas presentadas se plantea diferentes criterios los cuales se presentan en la tabla 8, estos ayudarán a la selección del sistema de transferencia de energía.

Tabla 8. Criterios de calificación para la transmisión

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-7	8-10
Costo	Elevado	Normal	Bajo
Facilidad de montaje	Difícil	Normal	Fácil
Asequible	No existe	Existe muy poco	Existe siempre
Eficiencia	Mala	Buena	Excelente
Capacidad de carga	Baja	Mediana	Alta
Vida útil	Corta	Mediana	Larga

Tomando en cuenta los criterios y las equivalencias presentadas en la tabla 8, en la tabla 9 se procede a calificar cada alternativa.

Tabla 9. Alternativa de transmisión de potencia

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	7	3
Facilidad de montaje	8	8
Asequible	9	9
Eficiencia	7	9
Capacidad de carga	7	9
Vida útil	6	9
SUMATORIA	44	47

Una vez realizada la calificación de las alternativas de transmisión de potencia, se evidencia que la alternativa 2 es la mejor opción para la elaboración del proyecto con una calificación de 47 donde la vida útil de este sistema y su capacidad de carga son

muy buenas y eficientes.

2.4. Análisis y selección de materiales

En la Tabla 1 de capítulo 1, se presentan alternativas de materiales que podrían ser ocupados en este proyecto, a partir de los criterios planteados en la tabla 10, ayudarán a la selección del material para el proyecto.

Tabla 10. Criterios de calificación para las opciones de los materiales.

CRITERIOS PARA EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-7	8-10
Disponibilidad	Escaso	Normal	Abundante
Valor	Elevado	Normal	Barato
Oposición a la corrosión	Baja	Normal	Alta
Resistencia a la temperatura	Baja	Normal	Alta

En la tabla 11 se realiza la calificación de cada opción con el fin de obtener la mejor alternativa de los materiales.

Tabla 11. Matriz de selección de las alternativas de materiales

CRITERIOS PARA EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Disponibilidad	10	8	8
Valor	4	5	5
Oposición a la corrosión	10	7	7
Resistencia a la temperatura	7	8	6
SUMATORIA	31	28	26

Los resultados que se evidencian en la tabla 11, mediante la calificación de cada alternativa, se tiene que la opción uno es la más adecuada para la aplicación del proyecto, este material será utilizado en construcciones futuras de los elementos críticos

de la máquina.

2.5. Análisis y elección de sensores de peso

Para la elección del sensor, se analizaron las siguientes opciones, planteadas en la tabla 12, donde se presenta diferentes sensores, con sus ventajas y desventajas.

Tabla 12. Análisis de alternativas para el sensor de peso

Alternativa	Sensor	Ventajas	Desventajas
1	Celda de carga SEN-10245	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones pequeñas • Fácil conexión • Económico • Eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un transductor para el PLC
2	PSD-S1 tipo S	<ul style="list-style-type: none"> • Material resistente • Seguro y antiexplosivo • Fácil conexión • Alta capacidad de sensado 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un transductor para el PLC • Precio elevado
3	DYLF-102	<ul style="list-style-type: none"> • Material resistente • Amplia aplicación • Alta capacidad de sensado • Alta precisión 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado • Necesita un transductor para el PLC

A partir de las alternativas planteadas, en la tabla 13 se establecen criterios que ayudarán a la selección del sensor de peso.

Tabla 13. Criterios de calificación del sensor de peso

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-7	8-10
Costo	Elevado	Normal	Bajo
Facilidad de montaje	Difícil	Normal	Fácil
Asequible	No existe	Existe muy poco	Existe siempre
Eficiencia	Mala	Buena	Excelente
Capacidad de carga	Baja	Mediana	Alta

Tomando en cuenta los criterios y las equivalencias presentadas en la tabla 13, en la tabla 14 se procede a evaluar cada opción.

Tabla 14. Calificación de alternativas de sensores

CRITERIOS PARA EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Costo	9	6	6
Facilidad de montaje	9	8	8
Asequible	10	8	8
Eficiencia	9	9	9
Capacidad de carga	8	10	10
SUMATORIA	45	41	41

Una vez realizada la calificación de las alternativas de los sensores de peso, se evidencia que la alternativa 1 es la mejor para la elaboración del proyecto con una calificación de 46 donde su costo, su facilidad de montaje y su accesibilidad son prioritarias.

2.6. Análisis para el acoplamiento de la batidora

Tomando en cuenta que el acoplamiento entre el molino eléctrico y la batidora se hará netamente por medio de una conexión eléctrica con el autómata programable, en la tabla 15 se presenta las opciones de diseño para la caída de la masa hacia el recipiente de la batidora.

Tabla 15. Alternativas de acople entre el proceso de molido y batido

Alternativa	Acople	Ventajas	Desventajas
1	Caída directa al recipiente	<ul style="list-style-type: none">• No implica gasto• No implica fabricación• No implica montaje	<ul style="list-style-type: none">• Pérdida de masa• No es eficiente
2	Rampa metálica	<ul style="list-style-type: none">• Reducción de pérdidas de la masa• Fácil fabricación• Fácil montaje• Eficiente• Económico	<ul style="list-style-type: none">• Vibraciones considerables

A partir de las alternativas que se presentan en la tabla 15, se plantean criterios los cuales se evidencia en tabla 16, estos ayudarán a la selección de la mejor opción.

Tabla 16. Criterios para el acople entre proceso de molido y batido

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS		
	1-3	4-7	8-10
Costo	Elevado	Normal	Bajo
Facilidad de montaje	Difícil	Normal	Fácil
Eficiencia	Mala	Buena	Excelente
Fabricación	Difícil	Normal	Fácil

Tomando en cuenta los criterios y las equivalencias presentadas en la tabla 16, mediante la tabla 17 se procede a calificar cada alternativa.

Tabla 17. Selección de la alternativa del acople

CRITERIOS A EVALUAR	EQUIVALENCIAS	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	10	9
Facilidad de montaje	10	10
Eficiencia	7	9
Fabricación	10	10
SUMATORIA	37	38

Una vez realizada la calificación de las alternativas para el acople entre procesos de molido y batido, se evidencia que la alternativa 2, es la mejor opción para la sinergia de los equipos, con una calificación de 38, donde la eficiencia es un criterio prioritario.

CAPÍTULO 3

REDISEÑO

INTRODUCCIÓN

En esta sección se expone el diseño CAD de los componentes rediseñados, y el esquema general del molino, los cuales mediante cálculos se redimensiona los elementos críticos.

3.1. Diseño del dispositivo

En la figura 17 se puede apreciar el modelado CAD del molino en general, el cual está compuesto por una tolva de alimentación, el molino en general, el eje para la transmisión de potencia, piñones, el husillo, el canal para el líquido de la materia prima.

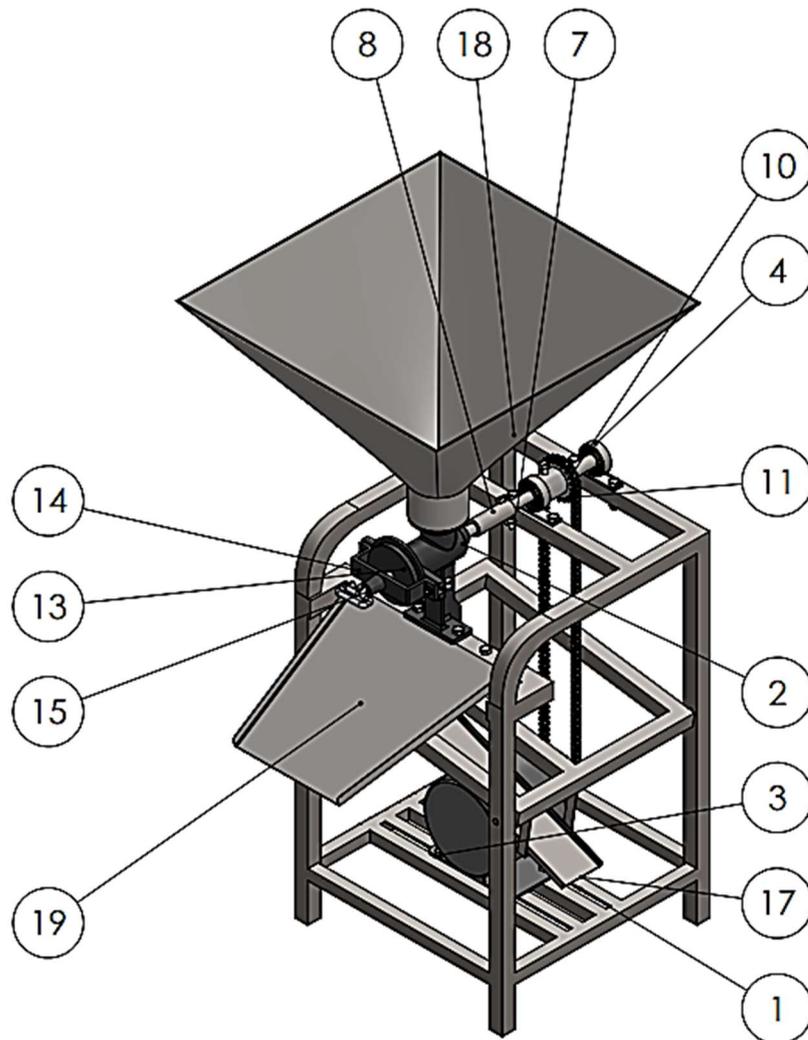


Figura 17. Vista general del dispositivo

En la tabla 18 se enumeran los elementos de la máquina, teniendo en cuenta que se utilizará pernos M8 para la sujeción, y se enumeran los diferentes elementos que componen la máquina.

Tabla 18. Partes de la máquina

Número	Parte	Descripción
1	Estructura de la máquina	Estructura donde se colocan los demás elementos
2,12,13, 14,15,16	Piezas que conforman el molino	Permite el proceso de molienda
3	Motor WEG	Motor monofásico de ½ HP
4	Chumacera	Para soportar los rodamientos
5,9,10,11	Piezas de la transmisión de potencia	Piñones y cadena de transmisión
6	Rodamientos AFBMA 20.1 – 02-20	Permite el movimiento del eje de transmisión
7	Eje de transmisión	Transmite la potencia generada por el motor y las cadenas
8	Acople	Para el husillo y el eje de transmisión
18	Tolva de alimentación	Se deposita la materia prima, para ser procesada
19	Rampa para masa	Permite la caída de masa al recipiente de la batidora

3.2. Diseño de la Tolva de almacenamiento

Se consideró una chapa de 2.5 mm de acero inoxidable AISI 304, la tolva tiene una forma cuadrada-cilíndrica, para lo cual mediante las ecuaciones 2 y 3 se obtiene el volumen de cada sección, y mediante la ecuación 4 se evidencia la capacidad que presenta la tolva de la figura 18.

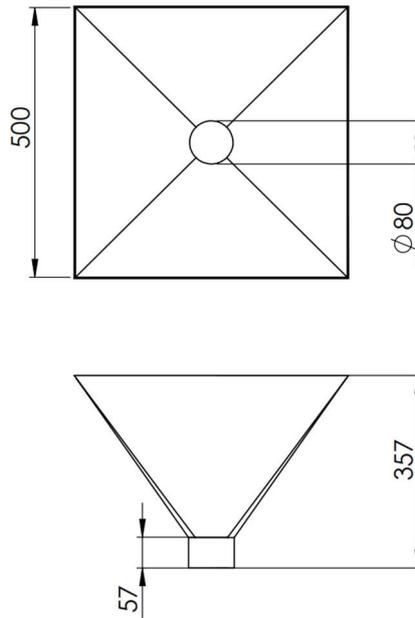


Figura 18. Medidas de la tolva de alimentación

Para determinar el volumen de la sección cilíndrica de la tolva se tiene:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 2 * \pi(r)^2 * h \\
 V_1 &= 2 * \pi(4)^2 * 5.7 \\
 V_1 &= 549.72 [cm^3] \approx 0.57 [L]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Donde:

- V_1 : Volumen del cilindro [L]
- r : radio cilindro [cm]
- h : altura cilindro [cm]

Para determinar el volumen de la sección cuadrada-redonda:

$$\begin{aligned}
 V_{cr} &= \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) + A_1 H \\
 V_{cr} &= \frac{30}{3}(250 + 50.26 + \sqrt{250 * 50.26}) + 250 * 50 \\
 V_{cr} &= 16623,5 [cm^3] \approx 16.6 [L]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Donde:

- V_{cr} : Volumen de la tolva cuadrada-circular [L]
- h : altura de la tolva cuadrada circular [cm]

- A_1 : área del cuadrado [cm^2]
- A_2 : área circular [cm^2]
- H : Dimensión del lado de la tolva cuadrada [cm]

Mediante la ecuación 4 se determina el volumen total en la tolva.

$$\begin{aligned} V_T &= V_1 + V_{cr} \\ V_T &= 0.57 + 16.6 \\ V_T &= 17,17[L] \end{aligned} \tag{4}$$

3.3. Rediseño del eje para el tornillo extrusor

Para el rediseño del eje y el tornillo partimos de la cantidad de materia que se desea procesar, que es un peso de 50 lb que aproximadamente es 22.68 kg, teniendo en cuenta esta variable se calcula la fuerza que va a actuar en el husillo y el eje de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} W &= F = m * a \\ F &= 22.68 [kg] * 9.81[m/s^2] \\ F &= 222.49 N \approx 300 N \end{aligned} \tag{5}$$

Donde:

- F : Fuerza que ejerce la materia [N]
- m : masa de la materia, sin considerar la gravedad [kg]
- a : aceleración [m/s^2]

Para el dimensionamiento del eje del tornillo extrusor, teniendo en cuenta que F representa a P_1 como se muestra en la figura 19, mediante el software MDSolids se procede a realizar un análisis a flexión.

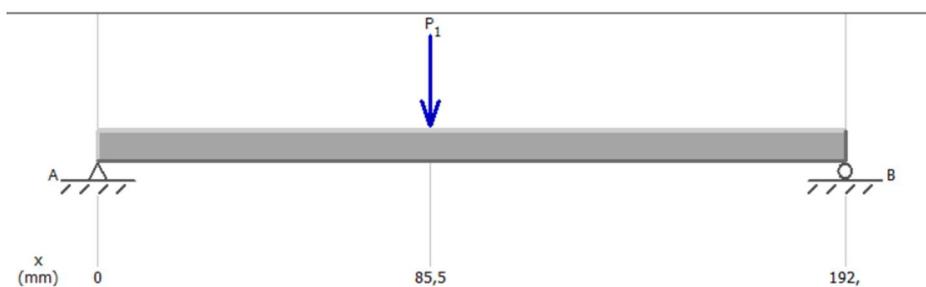


Figura 19. Diagrama de cargas para el eje del tornillo.

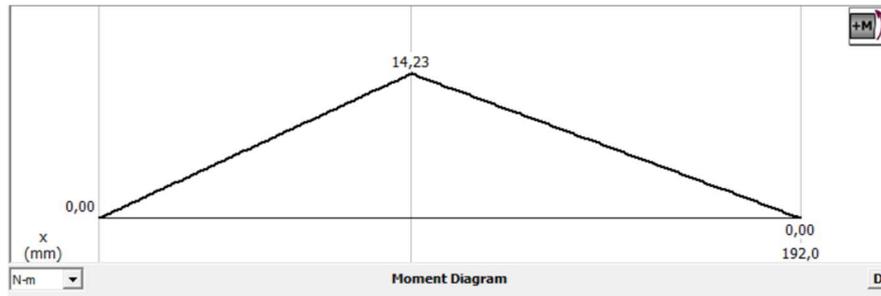


Figura 20. Diagrama de momentos para el eje del tornillo.

Como se aprecia en la figura 20, el momento máximo a utilizar es de 14.23 [Nm], además se debe considerar que el S_y para el acero 304 es de 216 [MPa] para el dimensionamiento del eje se utiliza el análisis que se presenta en la ecuación 6.

$$\begin{aligned}\sigma_y &= \frac{Mmáx}{\delta} \\ \sigma_y &= 0.6S_y \\ S &= \frac{\pi}{4}\phi^2 \\ \phi &= \sqrt{\frac{4 * Mmáx}{\pi * 0.6S_y}} \quad (6) \\ \phi &= \sqrt{\frac{4 * 14.23}{\pi * 0.6(21600000000)}} \\ \phi &= 10.96 [mm]\end{aligned}$$

Donde:

- σ_y : esfuerzo permisible [MPa]
- $Mmáx$: Momento máximo [Nm]
- ϕ : diámetro del eje [mm]
- S : módulo de sección
- S_y : resistencia a la fluencia [MPa]

Como se observa en la ecuación 6 el diámetro obtenido mediante cálculos es un diámetro de 10.96 mm, pero mediante el Anexo 1, se escoge un diámetro de 28 mm, el cual está en función de la dimensión original, para no perder la relación del diseño en el molino, en la figura 21 se evidencia el eje con sus dimensiones correspondientes.

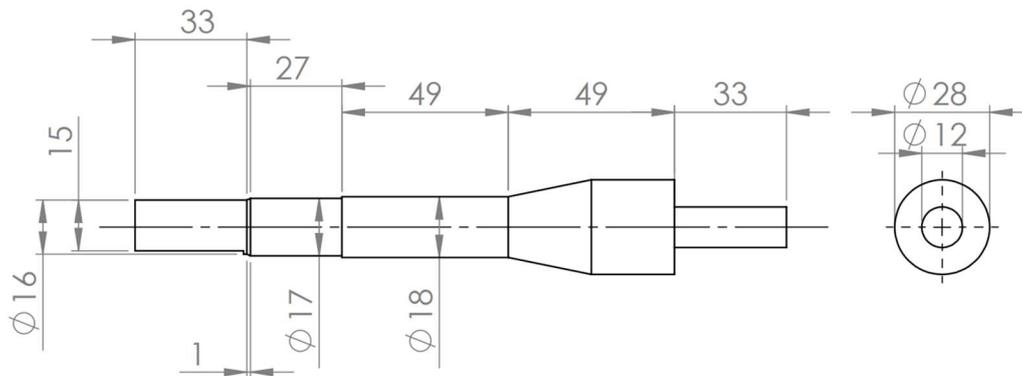


Figura 21. Eje para el husillo dimensionado.

3.4. Rediseño del tornillo extrusor

El tornillo extrusor es un mecanismo para transportar la materia prima, por lo tanto, la presión requerida para mover el material hasta el disco metálico, dependen principalmente de la geometría que posee. En la figura 22 se aprecia la configuración espacial de un husillo para extrusión, en la cual estará basado el diseño para el tornillo.

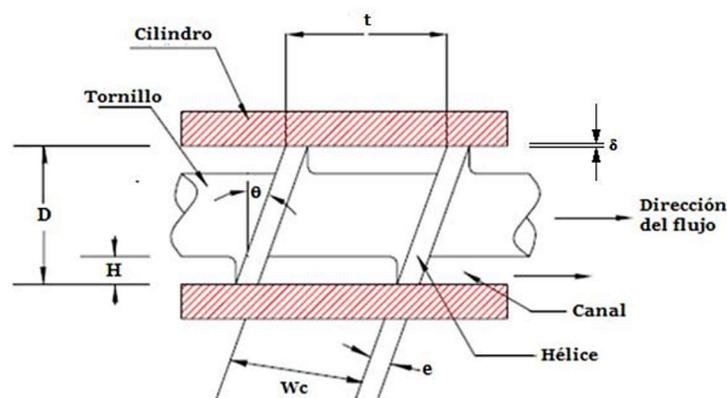


Figura 22. Detalles de un tornillo extrusor dentro del barril [30].

El diámetro interno inicial para el tornillo extrusor es el mismo que se seleccionó por el Anexo 1, entonces para el cálculo de la geometría del tornillo extrusor, se emplea las siguientes ecuaciones empíricas:

$$H = (0.2 - 0.3)D \quad (7)$$

$$w_c = \pi D \sin \theta \quad (8)$$

$$e = (0.06 - 0.1)D \quad (9)$$

$$t = (0.8 - 1.2)D \quad (10)$$

$$\delta = (0.002 - 0.003)D \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{t}{\pi D} \right) \quad (12)$$

Donde:

- D : diámetro del tornillo [mm]
- H : profundidad del tornillo [mm]
- w_c : ancho del canal entre hélices [mm]
- e : espesor del diente [mm]
- t : paso del husillo [mm]
- δ : holgura radial entre el tornillo y el barril [mm]
- θ : ángulo de hélice [°]
- N : velocidad del tornillo [r.p.m]

Se debe considerar que el husillo contiene canales para conducir la materia para luego pasar a comprimir el grano, la relación de compresión que se presenta en el tornillo varía entre 2 a 4 en el canal. La conducción se las realiza a través de las paletas. El tornillo se puede dividir en tres zonas de procesado, la de alimentación, la de compresión y la de dosificación, estas longitudes de las tres zonas se calculan de la siguiente manera.

$$L_1 = \frac{L}{2} \quad (13)$$

$$L_2 = \frac{L}{4} \quad (14)$$

$$L_3 = \frac{L}{4} \quad (15)$$

Donde:

- L_1 : zona de alimentación [mm]
- L_2 : zona de compresión [mm]
- L_3 : zona de dosificación [mm]
- L : longitud del husillo [mm]

Teniendo en cuenta las ecuaciones de la 7-15, se presenta en la tabla 19 los parámetros característicos para el diseño del tornillo extrusor.

Tabla 19. Parámetros característicos para el diseño del tornillo extrusor

Parámetros	Dimensiones [mm]
<i>D</i>	37
<i>H</i>	4
<i>w_c</i>	15
<i>e</i>	1.5
<i>t</i>	15
<i>δ</i>	0.037
<i>θ</i>	7.25
<i>L</i>	98
<i>L₁</i>	49
<i>L₂</i>	24.5
<i>L₃</i>	24.5

Una vez obtenidos los diferentes parámetros característicos para el rediseño del tornillo extrusor presentados en la tabla 19, mediante la figura 23 se evidencia el diseño

mediante software de la hélice del tronillo extrusor.

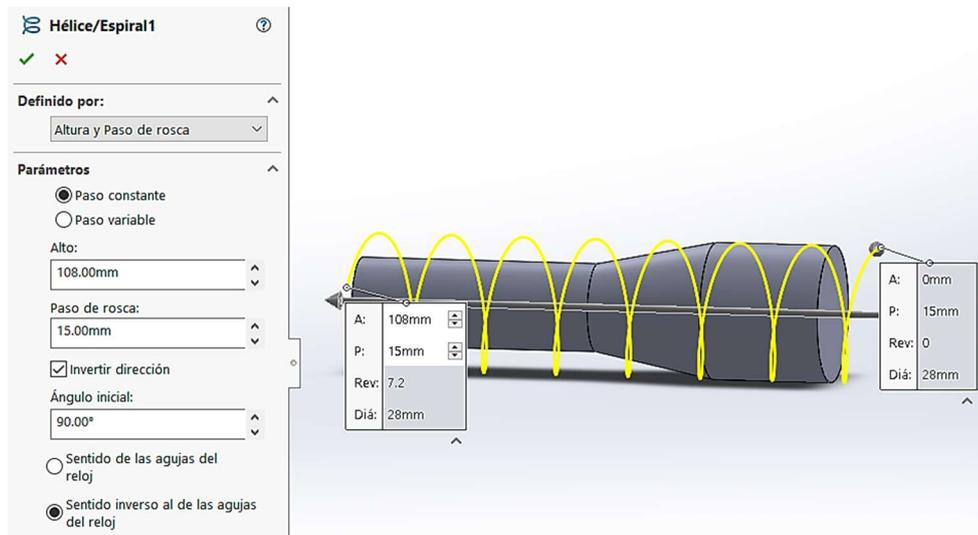


Figura 23. Diseño de hélice

Una vez obtenida la hélice en base al eje para el tornillo, en la figura 24 se ilustra el dimensionamiento del diente para el husillo, en función de su espesor y su diámetro de cresta.

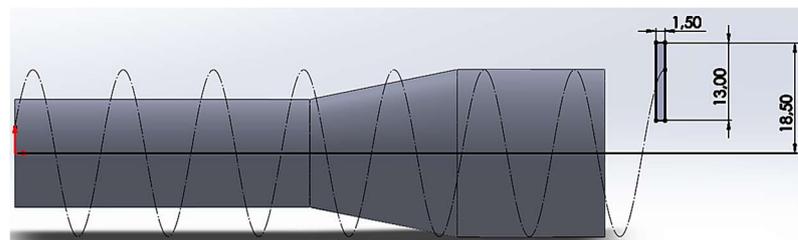


Figura 24. Diseño del diente para el tornillo

Una vez obtenida la hélice y el diente del tornillo, mediante una operación denominada barrer se genera el husillo con redondeos de 2 [mm] en cada arista que se genera entre el eje y el diente como se evidencia en la figura 25.

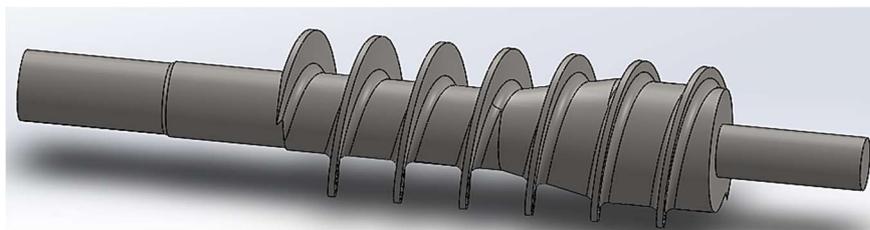


Figura 25. Tornillo de extrusión para humas

3.5. Diseño del sistema de transmisión de potencia

Se basa en dos piñones y una cadena, los cuales son seleccionados mediante el software RENOLD CHAIN como se presenta en la figura 26, en el cual se pueden insertar diferentes parámetros de potencia de entrada, velocidad de entrada en el piñón conductor, la relación entre piñones (número de dientes), distancia entre ejes. Además de seleccionar la característica de la máquina de conducción y el tipo de lubricación.

The screenshot shows the 'RENOLD Chain Selector' software interface. At the top, there is a header with the 'RENOLD Chain Selector' logo and a language dropdown set to 'Inglés'. The main interface is organized into several panels:

- DATOS DE RENDIMIENTO:** Includes input fields for 'Potencia de entrada' (kW) and 'Velocidad de entrada en la rueda' (rpm).
- NUMERO DE DIENTES:** Features dropdown menus for 'Rueda dentada de conducción' and 'Rueda dentada impulsada', both set to 20, and a 'Relación' field set to 1.
- DISTANCIA AL CENTRO / N° DE ENLACES:** Contains a 'Modo' dropdown set to 'Distancia entre ejes fija' and a 'Distancia del centro' input field.
- UNIDADES:** A section with 'Métrico' and 'Imperial' radio buttons.
- CLASIFICACIÓN DE CARGA:** Divided into 'Características de la máquina de conducción' and 'Características de la máquina impulsada', each with radio button options.
- LUBRICACIÓN:** Includes radio buttons for 'Funcionamiento en seco', 'Lubricación inadecuada', 'Recomendado', and 'Mejor que recomendado'.
- SELECCIÓN DE CADENA:** Features radio buttons for 'Selección automática' and 'Selección manual', along with 'Estándar' and 'Gama de productos' dropdowns.
- CONDICIONES AMBIENTALES:** Includes buttons for 'Ambiente' (Normal, Abrasivo) and 'Ubicación' (Interior, Exterior).

Figura 26. Software para selección de cadena para transmisión.

Se dispone de un motor WEG de $\frac{1}{2}$ HP que aproximadamente es 0.37 [kw], tomando en cuenta la velocidad ajustada mediante un variador de frecuencia, este motor trabajará con 500 r.p.m. En la tabla 20 se aprecia la selección de la cadena y las diferentes dimensiones para el diseño mediante Solidworks.

Tabla 20. Datos para la cadena y piñones obtenidos en Renold Chain Selector

Transmisión por Cadena	Especificaciones
Cadena	06 B (ISO 606) Simplex Renold Synergy
Número serial	GY06B1
Paso	9.525 mm
Diámetro del pin	3.28 mm
Diámetro del rodillo	6.358 mm
Número de dientes Z1 y Z2	20
Diámetro del círculo Pitch para Z1 y Z2	60.89 mm

Tomando en cuenta el diámetro del círculo pitch de la tabla 20, mediante la biblioteca de diseño del software SolidWorks, se selecciona en el sistema “Ansi metric” y en la carpeta de transmisión de potencia se selecciona un engrane recto como se evidencia en la figura 27 y se procede a crear el piñón en función a los parámetros de la tabla 20.

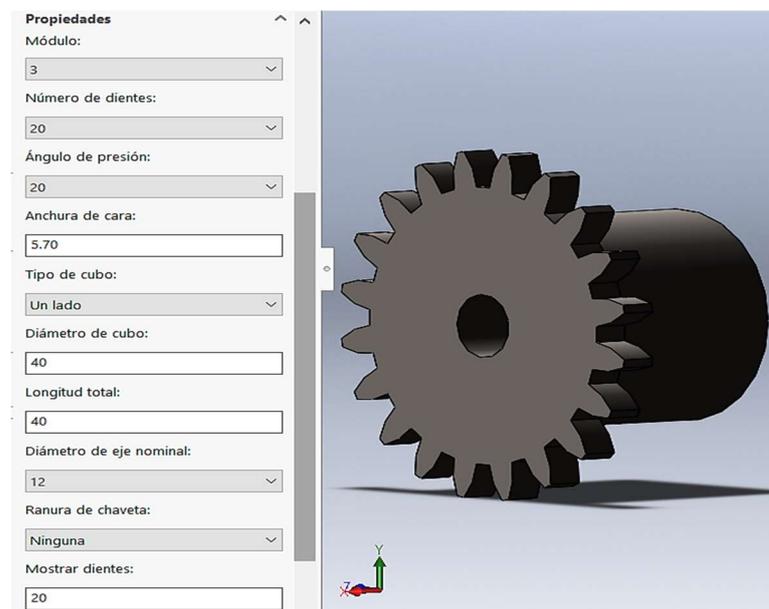


Figura 27. Configuración del piñón para el tornillo

En la figura 28, se presenta la configuración que tiene el piñón conductor.

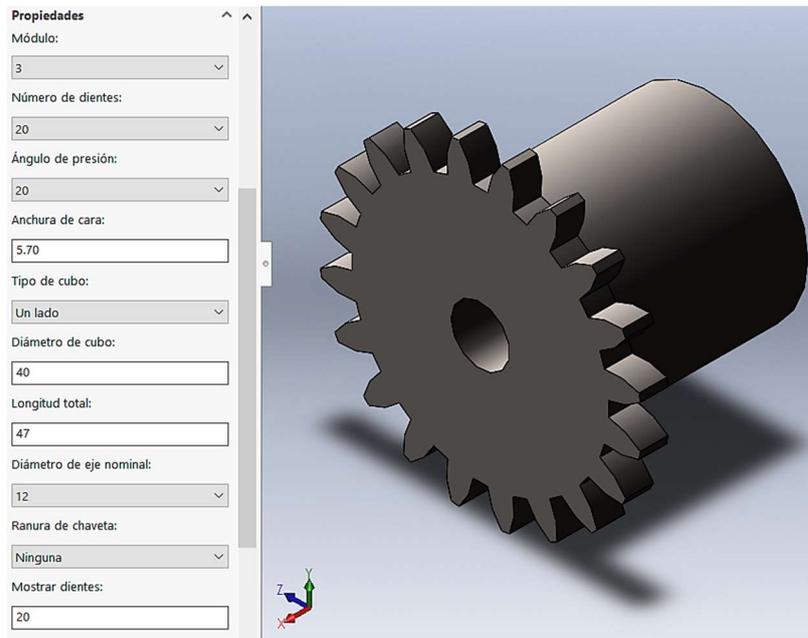


Figura 28. Configuración del piñón conductor

3.6. Diseño de la rampa

Tomando en cuenta que, para el acople entre procesos de molienda y batido se utilizará una rampa, mediante la alternativa seleccionada en la tabla 17 del capítulo 2, en la figura 29 se presenta el dimensionamiento del mecanismo para la caída de la masa hacia la batidora.

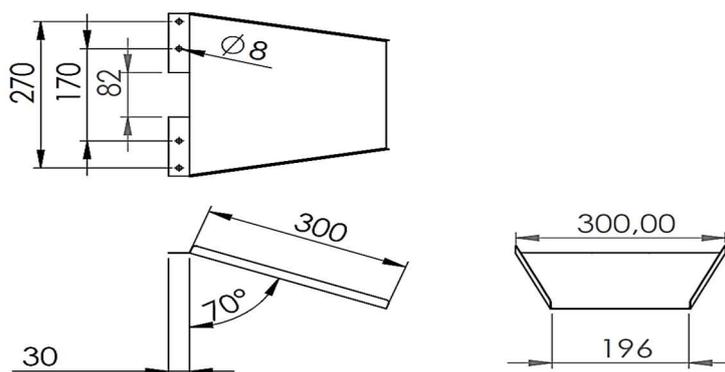


Figura 29. Dimensiones de la rampa.

3.7. Diseño del control de regulación de velocidad del motor WEG

Para el diseño de control es necesario tener en cuenta el motor que se dispone y se

muestra en la figura 30.



Figura 30. Motor monofásico WEG ½ HP.

El motor que se presenta en la figura 30, posee las siguientes cualidades que se detallan en la tabla 21.

Tabla 21. Características y descripción del motor

Marca	WEG
MOD	MO0IC0X0X0000300734
DATE	16MAI13
Polos PH	1
Potencia	0.5 HP
Velocidad angular	1720 RPM
Carcaza FR	C48
Frecuencia	60 Hz
Voltaje nominal	110/220
Corriente nominal A	8,40/4,20
Amperaje de factor de servicio SFA	9,50/4,75
Factor de servicio SF	1,25
DUTY	Continuo
Clase de aislamiento INS	B
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Grupo de protección ENCL	ODP

Para el cuidado del motor se utilizará un variador de frecuencia CW300 el cual se presenta en la figura 22, además, en la tabla 22 se evidencia las características del dispositivo que ayudará a la reducción de velocidad angular de 1750 r.p.m que tiene el motor WEG, a una celeridad de 500 r.p.m.

Tabla 22. Características del variador de frecuencia CFW300

Marca	WEG
MOD	13059153
Tensión de alimentación monofásica	110-127 Vca
Rango de corriente	Hasta 15.2 A
Rango de potencia	0.5 HP - 5HP
Frecuencia de conmutación	2.5 a 15 kHz
Temperatura ambiente de operación	0 a 50 °C

Tomando en cuenta la velocidad a la que se reduce en función del variador, el par motor con el que se trabajará se presenta en la ecuación 16.

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

$$T = \frac{372.85 [W]}{\frac{500\pi}{30} [rad/s]} \quad (16)$$

$$T = 7.12 [Nm]$$

3.8. Diseño del sistema de control

Se empleará un dispositivo PLC S7-1200 1214C, el cual consta de un disyuntor, tres pulsadores, el transmisor de carga, la celda de carga y los relés para la activación del motor del molino y la activación de la batidora, en la figura 31, se evidencia la configuración de conexiones de la estructura de control.

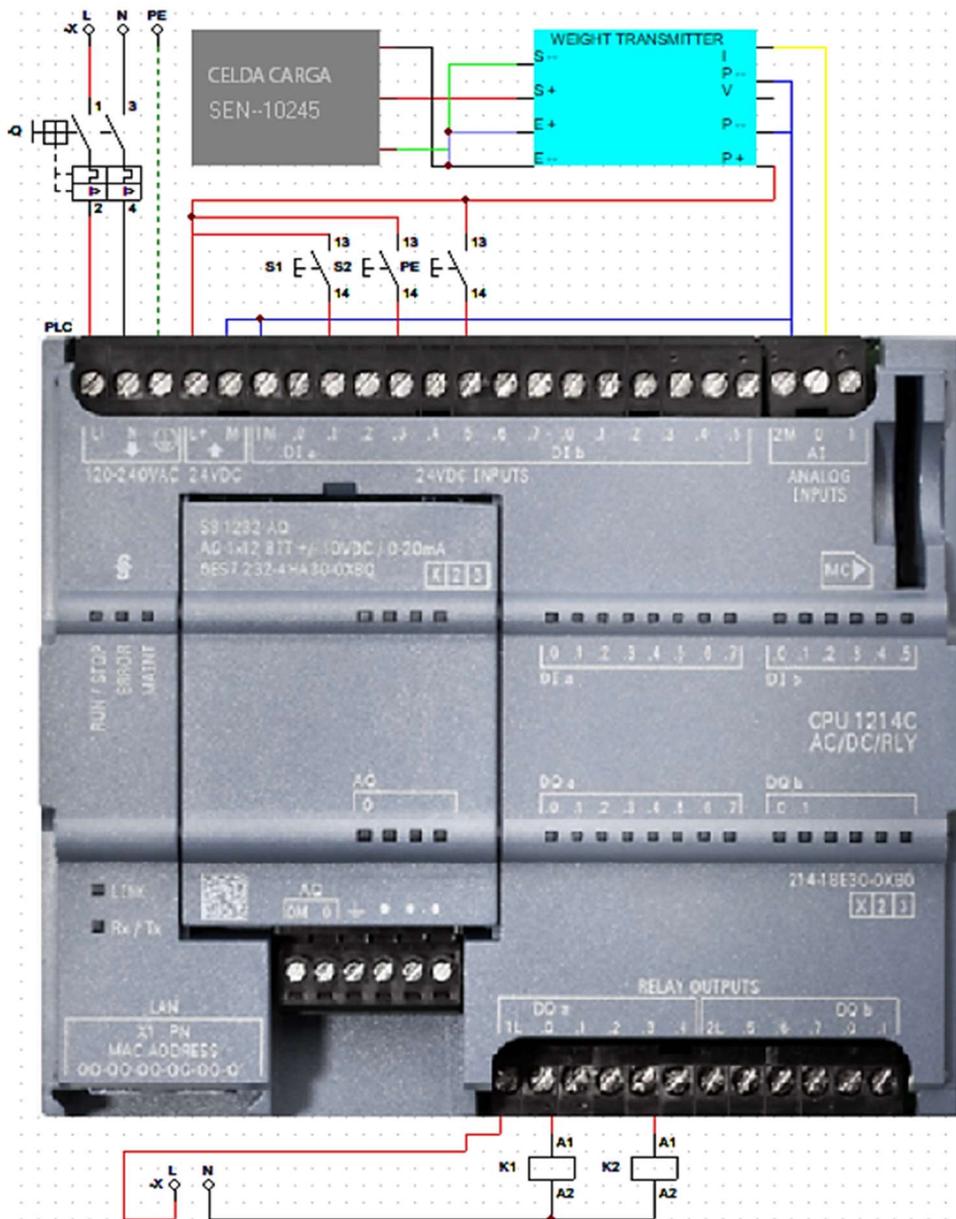


Figura 31. Esquema de conexiones.

3.8.1. Diagrama de control

El mando de la máquina mostrado en la figura 23, el cual consta de tres contactos normalmente abiertos y están conectados de la siguiente manera, I0.1 inicio del proceso de molido, I0.3 Inicio del proceso de batido, I0.5 paro de emergencia, el contacto normalmente abierto WT representa el transmisor, y los relés que son activados con Q0.0 y Q0.3, estas representan a las salidas del PLC.

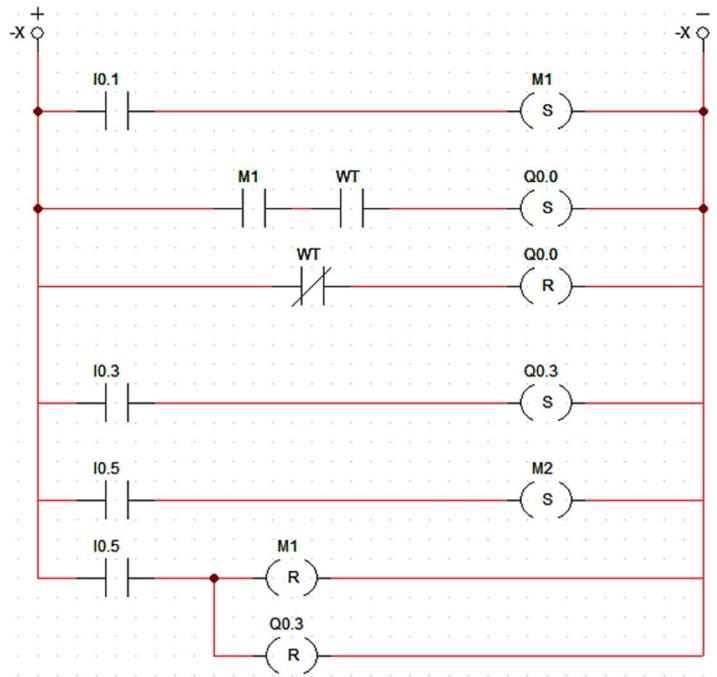


Figura 32. Representación del diagrama de control.

3.8.2. Esquema de potencia

En la figura 33, se evidencia el esquema de potencia de cada motor, estos contactos K1 y K2 se activan mediante la señal de control del PLC, estas salidas son Q0.0 y Q0.3.

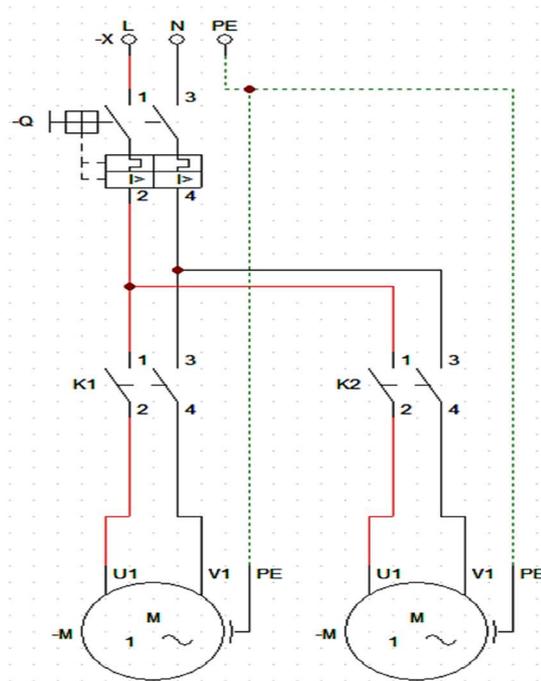


Figura 33. Representación del diagrama de potencia.

3.9. Esquema de flujo del funcionamiento de la máquina

Mediante el esquema mostrado en la figura 34 en el que se detallan la etapa de molido y batido, todo inicia con la energización de la máquina, luego mediante el HMI o un pulsador auxiliar se inicia el proceso de molido, el cual está en función de la detección del sensor de peso (detección de la materia prima), mientras exista grano en la tolva, el motor 1 se activará, una vez que el sensor no detecte el choclo en la tolva, se dará un tiempo de retraso para apagar el actuador, con eso concluye el primer proceso.

Para dar inicio al proceso de molido se ingresan los parámetros de tiempos para llevar a cabo el proceso de batido mediante el HMI, y por consecuente mediante el mismo HMI o el segundo botón auxiliar se da inicio al proceso y después de cumplir con los tiempos ajustados, culmina el proceso de batido, se debe considerar el tercer botón el cual funciona como un paro de emergencia.

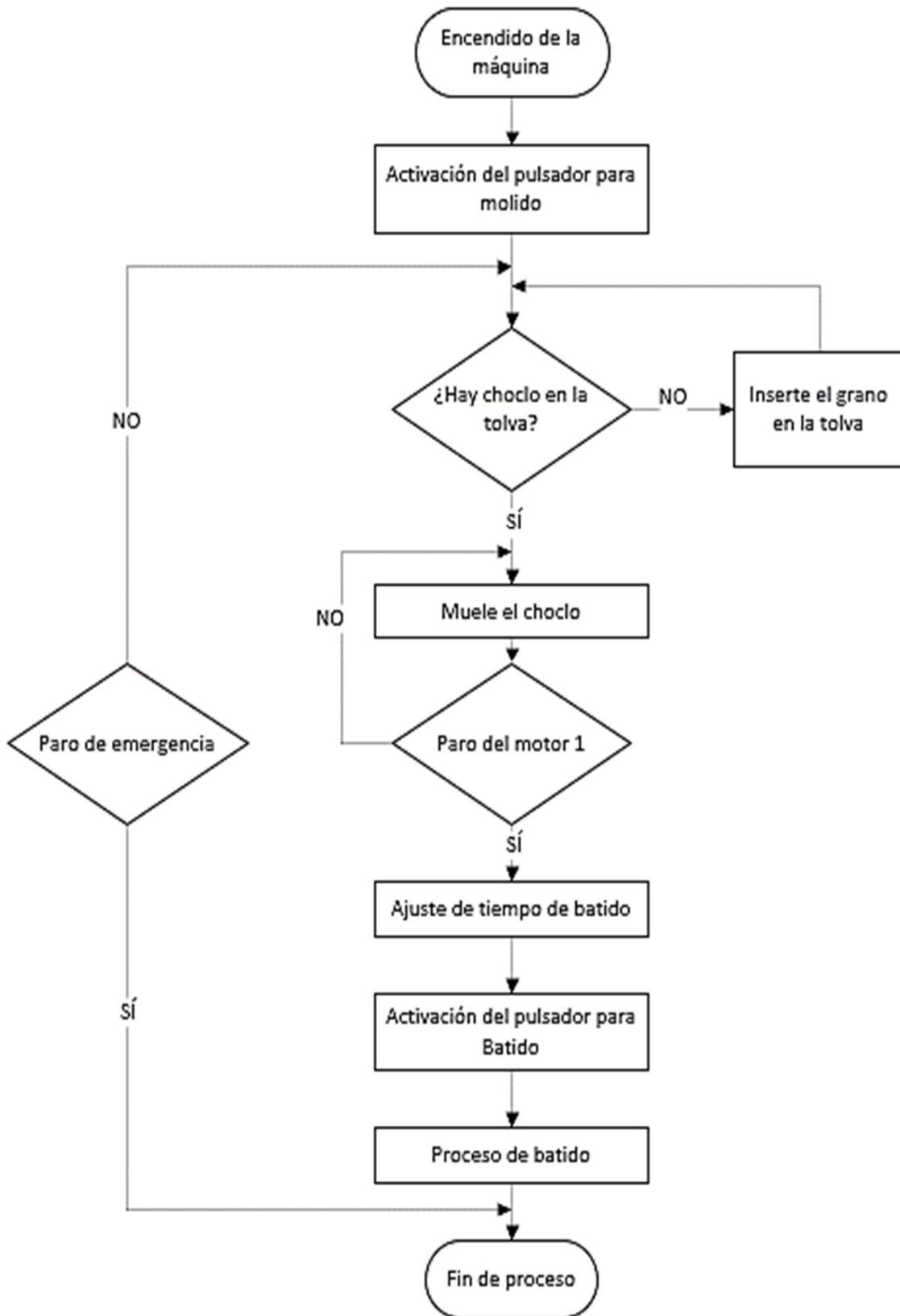


Figura 34. Diagrama de flujo del proceso de molido y batido.

3.10. Diseño de la interfaz principal HMI

En la figura 35 se presenta panel que se utilizará el cual es un modelo KTP 700 Basic PN de 7 [in], seleccionado por sus características versátiles. La conexión está en función de profinet, permitiendo el enlace con el autómata PLC S7 1200.

La interfaz máquina-usuario está elaborada mediante el software TIA PORTAL, la función principal de esta interfaz es para el accionamiento del molino, presentar el nivel de grano de choclo y posterior ajustar parámetros para realizar el proceso de batido.

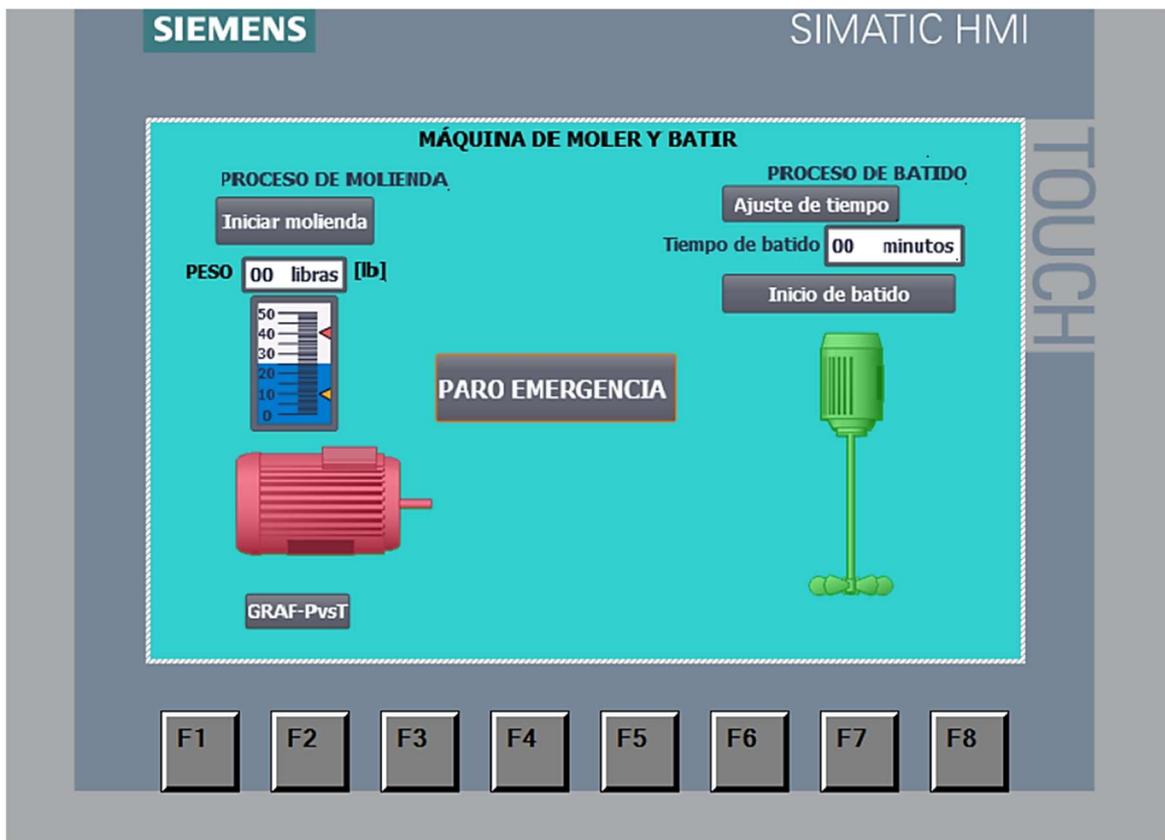


Figura 35. Interfaz de inicio HMI

El panel para la obtención de datos se exhibe en la figura 36, la cual mostrará una gráfica del tiempo de molienda con relación al peso.

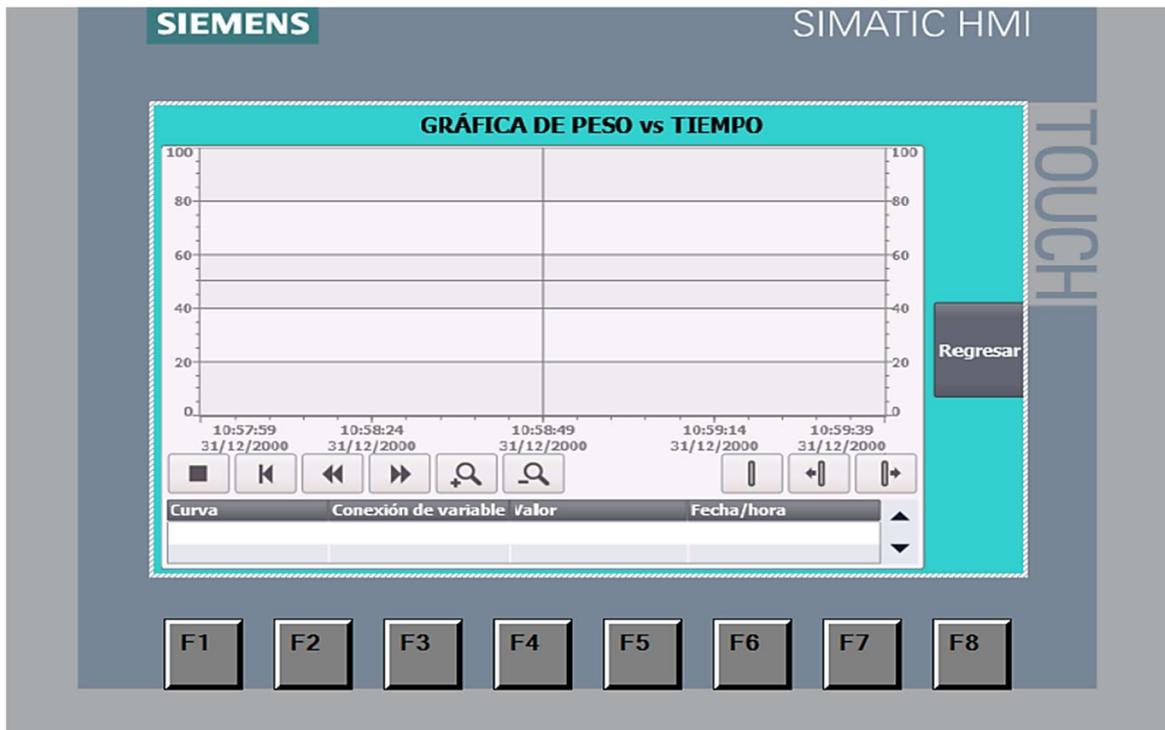


Figura 36. Interfaz de adquisición de datos

Se debe considerar que los tiempos de batido dependen del estado en el que se encuentre la materia prima, tomando en cuenta que los dos casos que se puede presentar es un grano de choclo tierno y el otro maduro, para lo cual el tiempo es variable.

3.11. Diagrama de flujo del HMI

Mediante la figura 35, se observan los botones de iniciar molienda el cual activará el sensor y mientras detecte un peso el motor se pondrá de color verde para evidenciar el movimiento, el botón GRAF-PvsT permite acceder a la ventana ilustrada en la figura 36 donde se visualizará la gráfica del tiempo de molienda en función del peso. El botón de Ajuste de tiempo da paso al proceso de batido, en el recuadro de tiempo de batido, se ingresa el tiempo requerido por el operario y mediante la pulsación del botón de Inicio de batido, se activa el proceso y la silueta de las paletas empezará a girar durante el tiempo ingresado, el botón de PARO EMERGENCIA, para todos los procesos de manera automática con el fin de proteger la máquina. En la figura 37 se presenta un esquema en el que se detalla el funcionamiento del HMI.

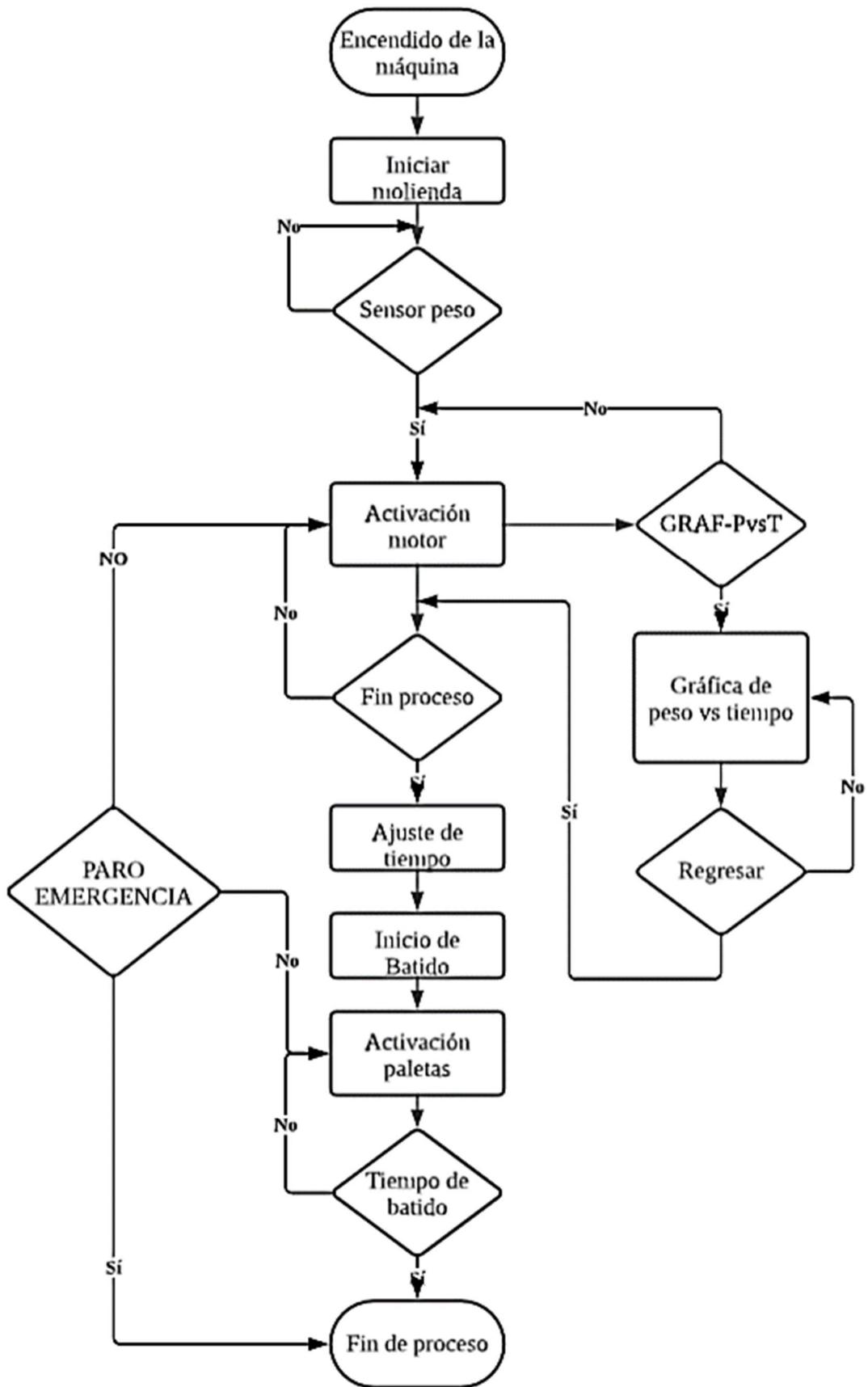


Figura 37. Diagrama de flujo HMI

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

Con los diseños elaborados en el capítulo 3, en esta sección se analizan los resultados adquiridos mediante la simulación de los elementos críticos rediseñados y de los tiempos hipotéticos de molienda del choclo.

4.1. Simulación del eje para el tornillo

En la figura 19 del capítulo 3 se considera el diagrama de cargas puntuales para el dimensionamiento para el eje, a partir de estos datos y del diseño CAD se presenta la simulación de tensiones en el eje como se indica en la figura 38. Con el resultado del estudio se evidencia que el límite elástico es de 206,87 [MPa], razón por la cual el eje es adecuado y no tendrá fallas al aplicar la carga de la materia prima.

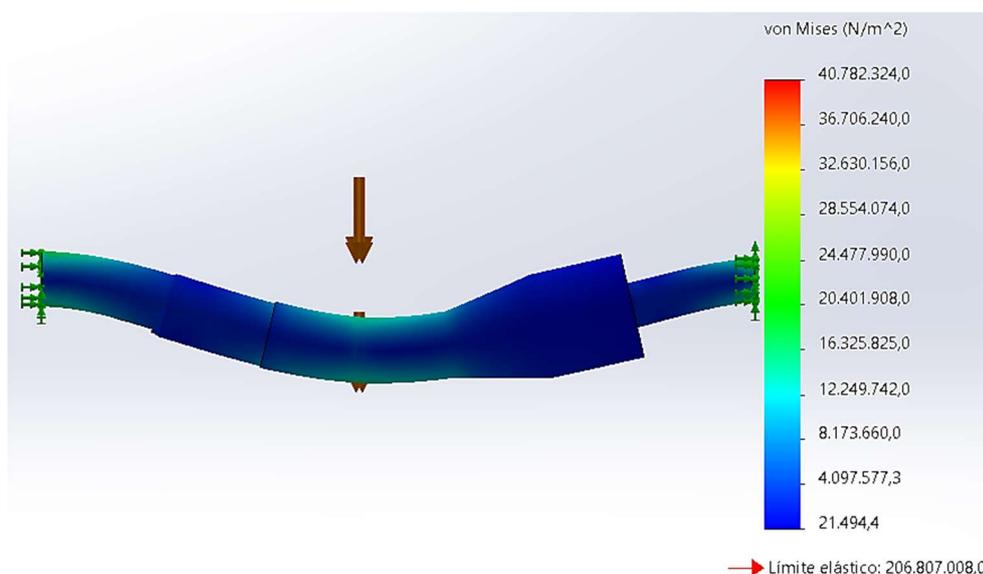


Figura 38. Análisis de tensión del eje.

El desplazamiento que se evidencia en la figura 39, con respecto a una carga sobredimensionada de 300 [N], se evidencia un valor máximo de 0.017 [mm], por lo tanto, se concluye que el eje no sufrirá un desplazamiento considerable ante la carga sobre dimensionada de 300 [N] y sigue siendo apropiado para el trabajo de extrusión.

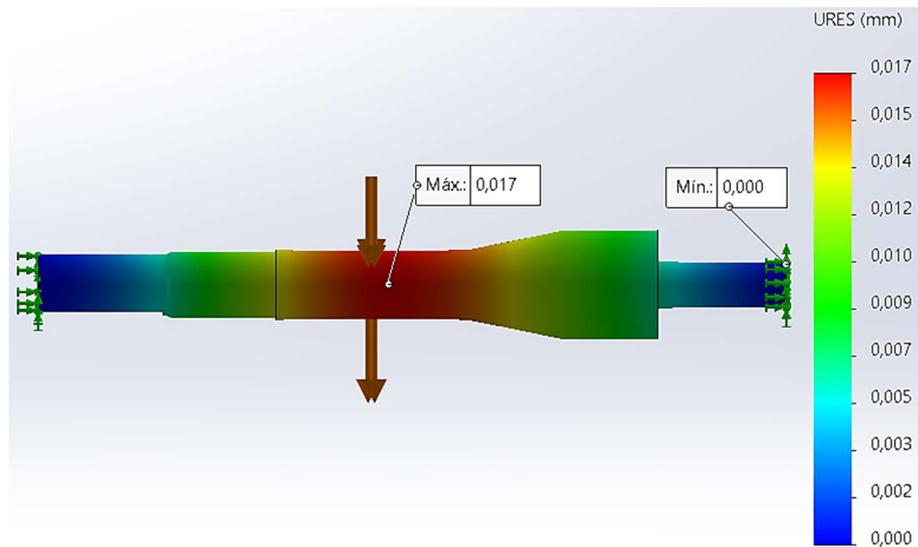


Figura 39. Análisis de desplazamientos en el eje del tornillo

Finalmente, mediante el estudio del factor de seguridad del eje mostrado en la figura 40, el factor mínimo de seguridad es de 5,07 razón por la cual el elemento es extremadamente seguro.

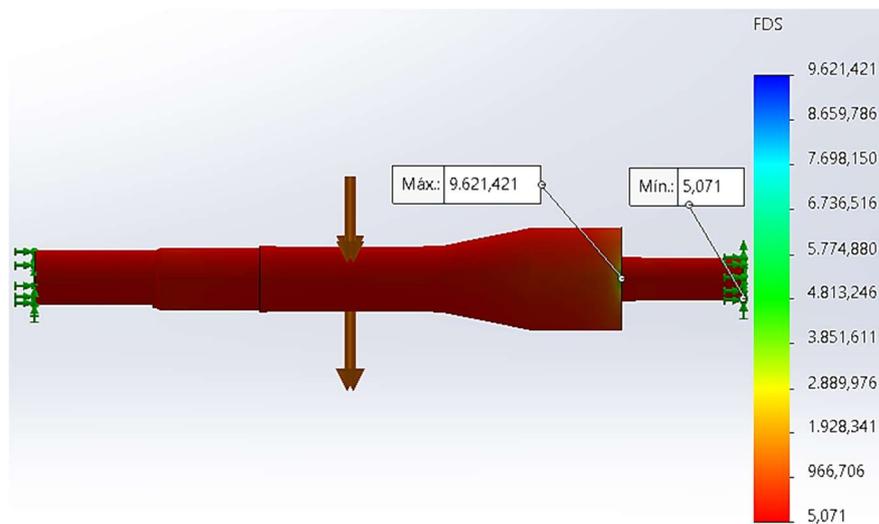


Figura 40. Factor de seguridad en el eje

4.2. Simulación de la estructura de la máquina

Teniendo en cuenta el cambio que se pretende realizar en la estructura de la máquina y el peso de los elementos rediseñados mediante el software, en la tabla 23 se presenta la carga más considerable que es la fuerza del grano y fuerza del molino.

Tabla 23. Cargas a considerar para el análisis de la estructura

Elemento	Carga
Molino	25.15 [N]
Materia prima máx.	300 [N]

Mediante los datos obtenidos en la tabla 23, la cual trabajará con una carga aproximada de 326 [N]. En la figura 41 se presenta un valor máximo de 7,815 [kgf/cm^2], siendo esta una tensión que no genera fallas en la estructura.

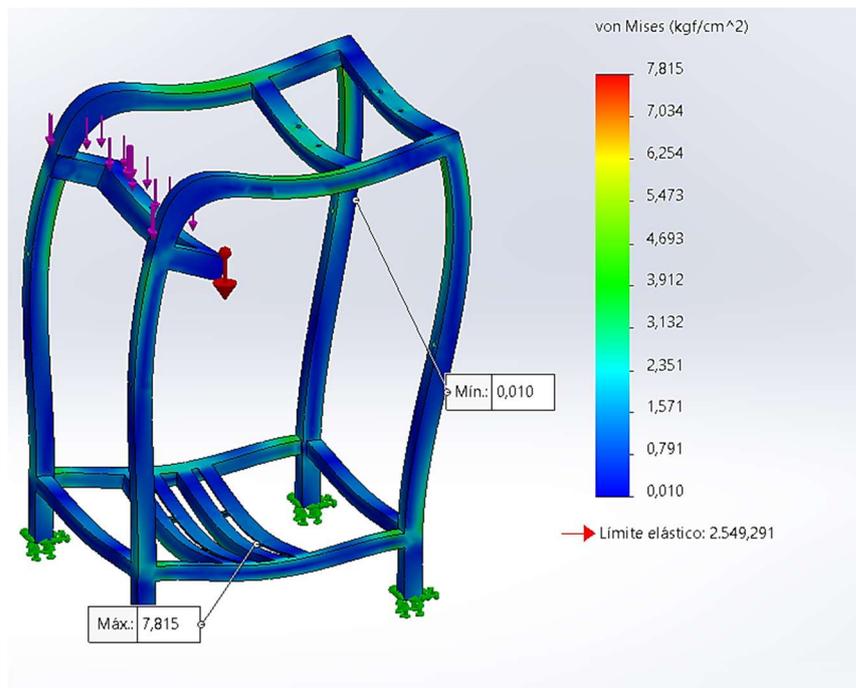


Figura 41. Tensión de la estructura [kgf/cm^2].

En la figura 42, se presenta el desplazamiento de 0.004 [mm] que se generará ante la carga aplicada y la gravedad, la cual no generará desplazamientos considerables para llegar a falla en la estructura.

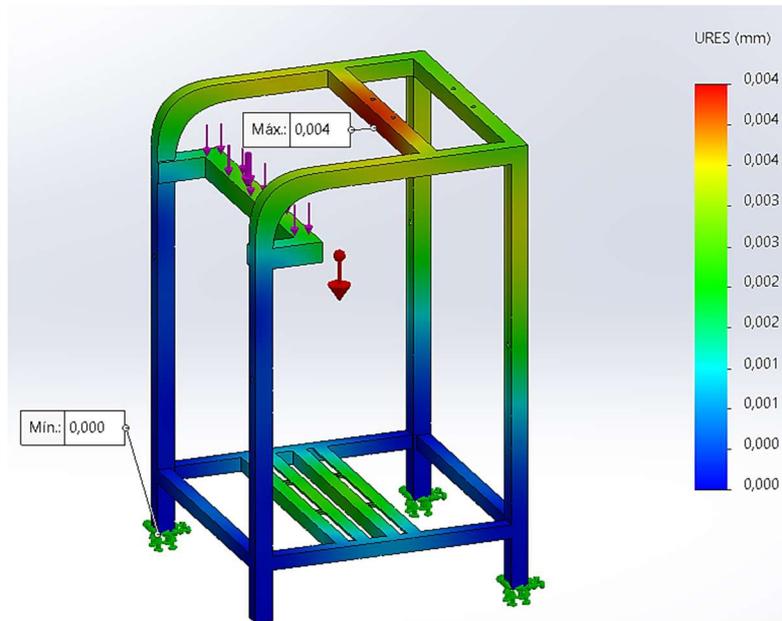


Figura 42. Análisis de desplazamiento en la estructura

Por último, el análisis que se evidencia en la figura 43, tiene un valor mínimo de 326,22, haciendo de este esqueleto seguro para el funcionamiento.

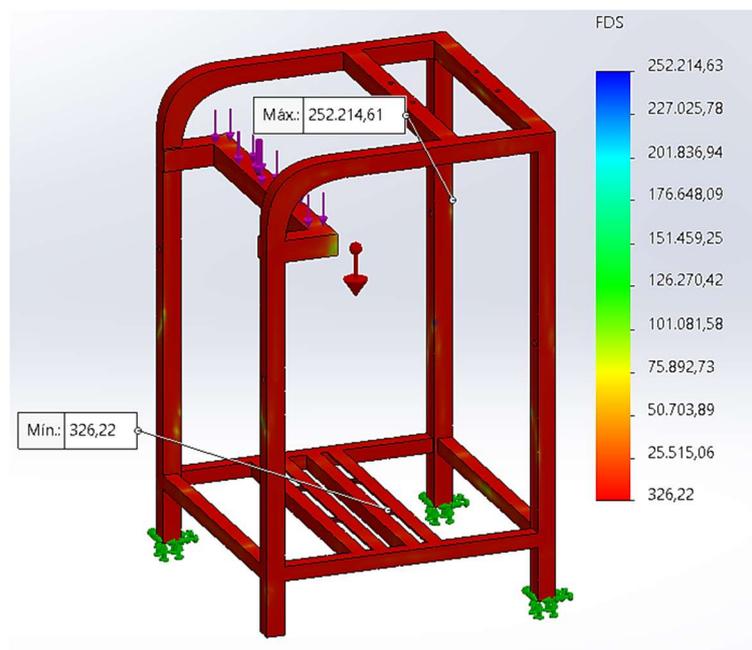


Figura 43. Factor de seguridad de la estructura.

4.4. Simulación de la tolva

Para el análisis de la tolva es muy necesario tener en cuenta la carga que se ha planteado de 300 [N], porque la presión que se va a ejercer en las paredes de la tolva está dividida en toda el área de la tolva, se tiene un área cuadrada y circular, mediante la ecuación 7 se presenta las presiones para la simulación.

$$P = \frac{F}{A}$$
$$P_1 = \frac{300[N]}{250000 [cm^2]}$$
$$P_1 = 0.0012 [MPa]$$
$$P_2 = \frac{300[N]}{5026.54 [cm^2]}$$
$$P_2 = 0.059 [MPa]$$
(17)

El análisis de deformación mostrado en la figura 44 presenta un valor de deformación de 0.12 [mm], que se presentará al momento de llenado del choclo teniendo en cuenta que no llegará a tener desplazamientos que influyan con su funcionalidad.

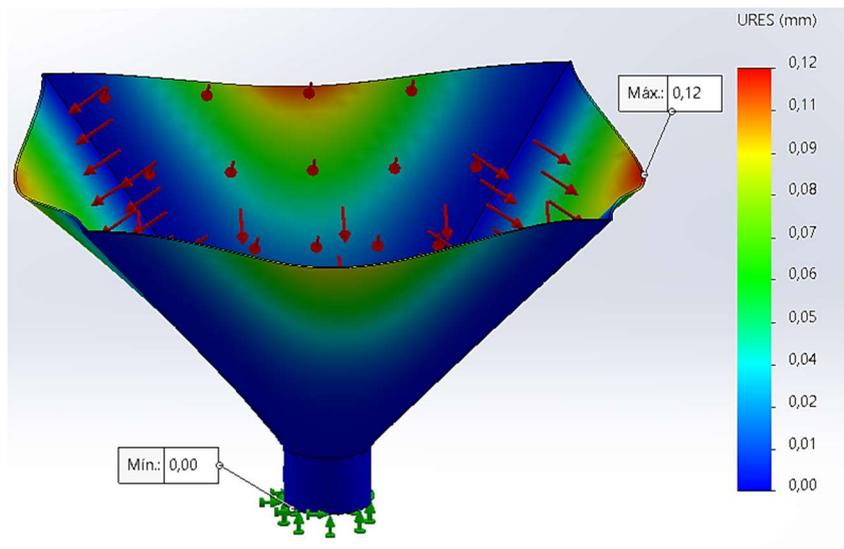


Figura 44. Análisis de desplazamiento de la tolva de almacenamiento

El estudio que se evidencia en la figura 44 de factor de seguridad, muestra el valor mínimo de 25,8 de esta forma se determina un funcionamiento correcto del elemento en función de una carga de 300 [N].

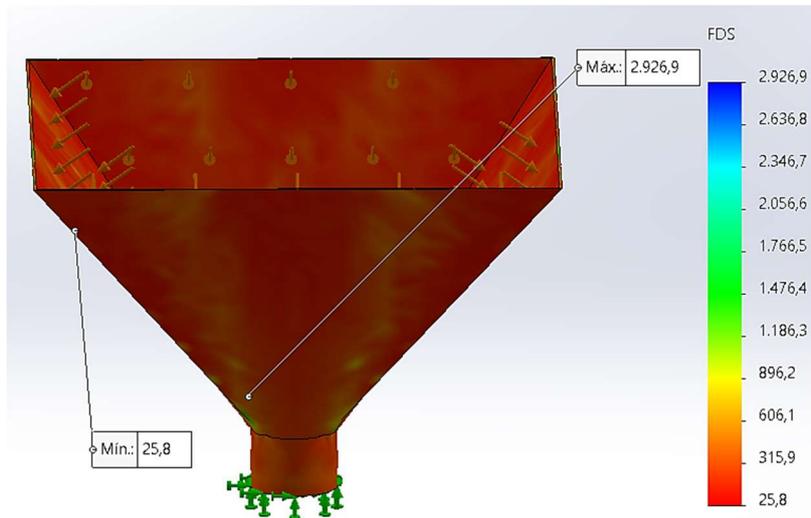


Figura 45. Estudio de factor de seguridad de la tolva de alimentación.

4.5. Simulación de la rampa

Considerando que el proceso de trituración no arroja todo el peso de manera directa a la rampa, se utiliza un estudio de presión bajo una carga sobredimensionada de $20 \text{ [N/m}^2\text{]}$, se procede a realizar la simulación. En la figura 46, se presenta un valor máximo de 0.3 [mm] , demostrando que el elemento no presentará fallas considerables en el trabajo.

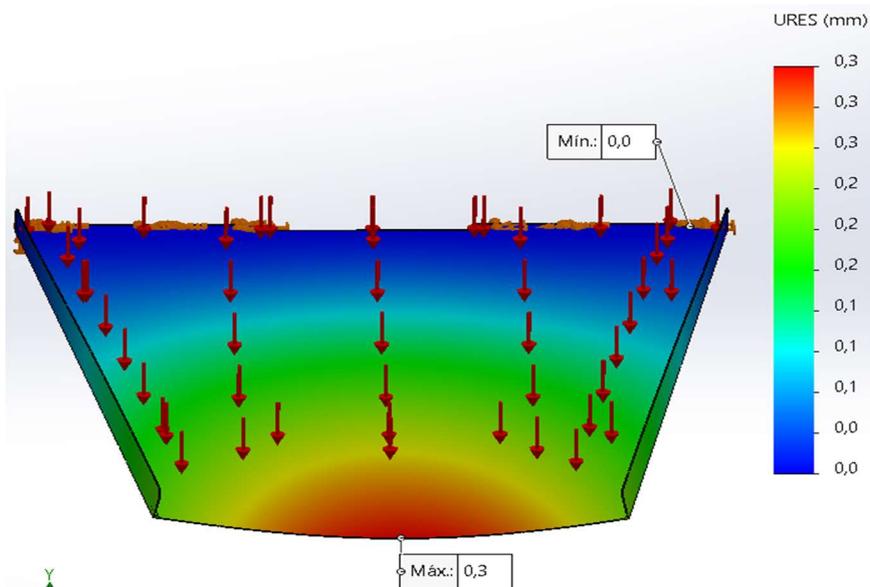


Figura 46. Análisis de desplazamiento de la rampa.

En la figura 47 se presenta el análisis de factor de seguridad, en el que se puede apreciar

que el valor mínimo es 5.1 de esta forma se determina un funcionamiento correcto del elemento en función de una carga máxima de 20 $[N/m^2]$.

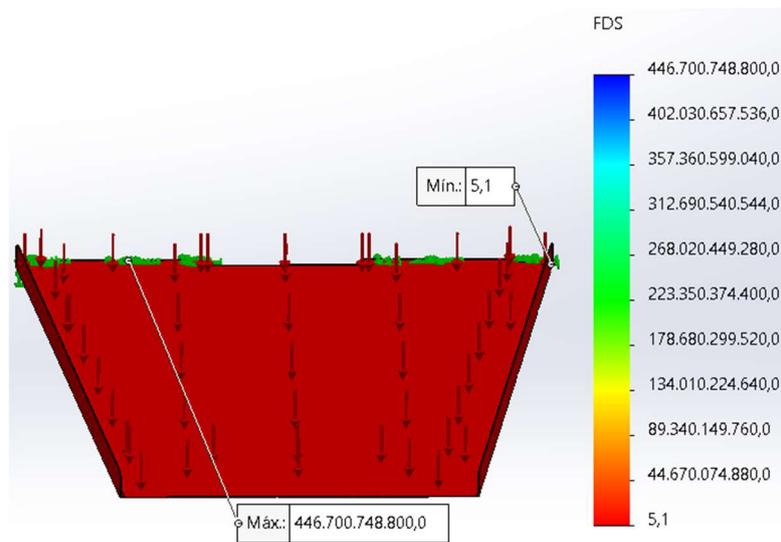


Figura 47. Análisis de factor de seguridad en la rampa.

4.6. Simulación de la máquina

Se presenta la simulación del funcionamiento de la máquina mediante el software Tia Portal, se presenta en la figura 48 el funcionamiento del proceso de molido que está basado en el funcionamiento del motor teniendo en cuenta el peso seteado.

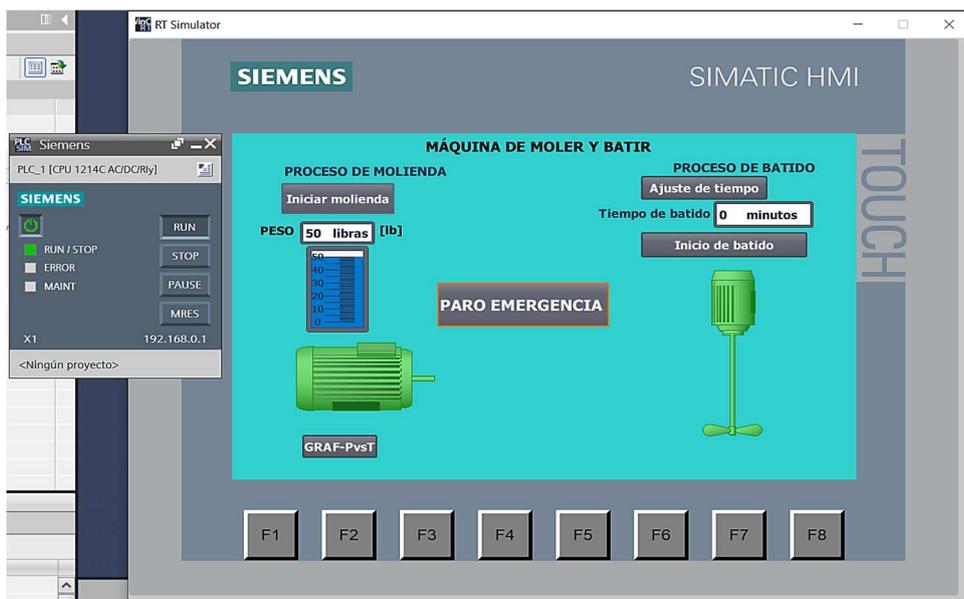


Figura 48. Simulación del proceso de molido a 50 lb.

En la figura 49, se observa la adquisición de datos del tiempo que va transcurriendo hasta terminar el proceso de molienda.

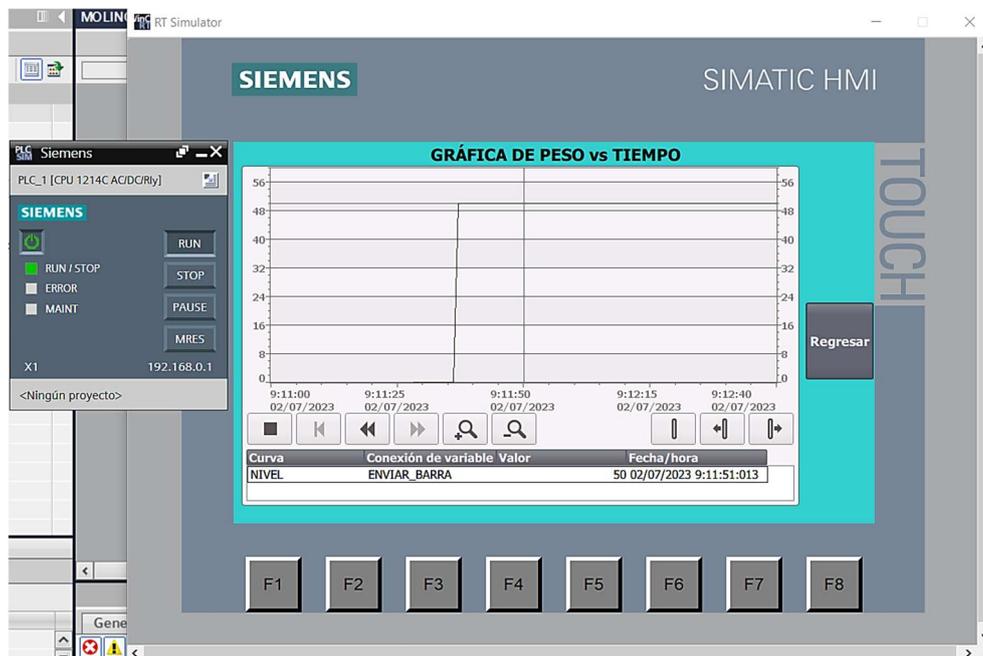


Figura 49. Tiempo de molienda a 50 lb.

Se realizan diferentes simulaciones a diferentes pesos, para ver el tiempo que conlleva para la culminación del proceso de moliendo, en la tabla 24 se presenta los tiempos de molienda en base al peso de entrada.

Tabla 24. Tiempos de molienda

Peso [Lb]	Tiempo [min]
50	20
30	12
20	8

A partir de los datos obtenidos en el HMI en la figura 50, se presenta la recta de los tiempos de procesamiento, en función al peso.

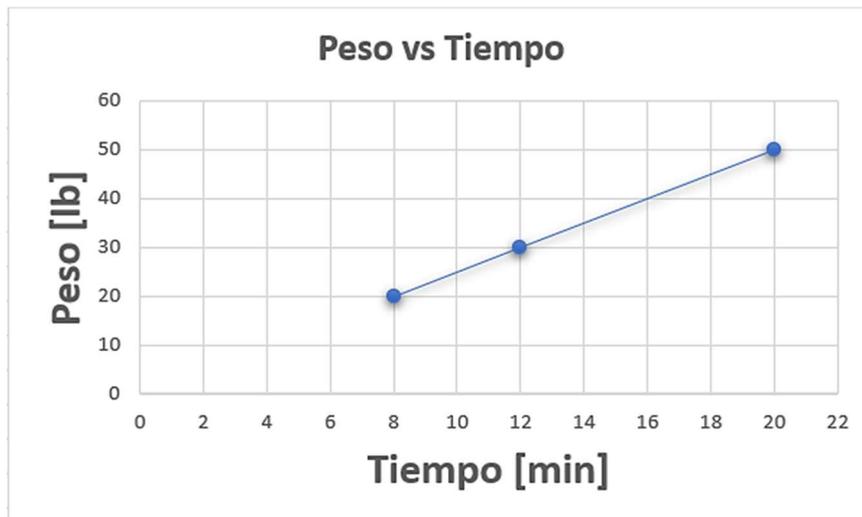


Figura 50. Peso vs tiempo proceso de molienda

Mediante la ecuación 18 que representa a la pendiente teniendo como puntos referentes P1(8,20) P2(20,50) se obtiene el valor de la pendiente de 2.5 [min], razón por la cual se procesará 1 [lb] de choclo cada 40 segundos.

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \\
 m &= \frac{50 - 20}{20 - 8} \\
 m &= 2.5
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

En la figura 51 se presenta el funcionamiento del proceso de batido, donde se activa el actuador una vez que se establecen los tiempos para llevar a cabo el proceso, tomando en cuenta la cantidad de 50 [lb].

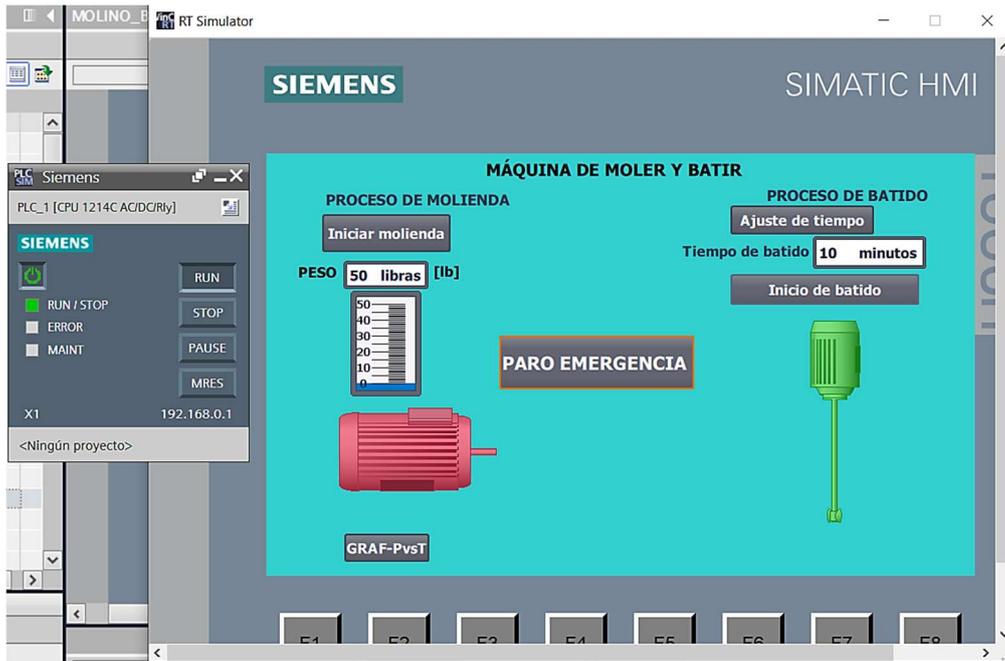


Figura 51. Simulación del proceso de batido.

A partir de la experiencia, en la tabla 25 se presentan los diferentes tiempos que se pueden ajustar en el HMI, dependiendo la cantidad que se desea procesar y su estado.

Tabla 25. Tiempos de batido

Peso [Lb]	Tiempo [min]	Estado
50	10	Maduro
50	7	Tierno
30	8	Maduro
30	5	Tierno
20	7	Maduro
20	4	Tierno

4.8. Estudio económico de la máquina

Se analizan los gastos que el proyecto podría tener en una implementación futura, en la cual se incluye, materiales, componentes y mano de obra.

4.8.1. Componentes mecánicos y materiales

Se analizó los posibles gastos que la máquina podría tener en una implementación futura, en la cual se incluye, materiales, componentes y mano de obra.

La tabla 26 proporciona una lista de los elementos y materiales que serán utilizados en futuras implementaciones, junto con sus costos respectivos.

Tabla 26. Análisis de costos de componentes mecánicos y recursos

Cantidad	Detalle	Valor por unidad [S]	Valor total [S]
2	Eje de 40 mm	30	760
1	Cadena	50	50
2	Piñón para transmisión	50	100
1	Chapa de 0.5 mm rampa	20	20
1	Chapa de 2.5 mm tolva	30	30
Total			960\$

4.8.2. Componentes eléctricos

En la tabla 27, se enlista los diferentes elementos que se utilizaran en implementaciones futuras, con su respectivo precio.

Tabla 27. Análisis de costos de componentes electrónicos

Cantidad	Detalle	Valor por unidad [\\$]	Valor total [\\$]
1	PLC S7 1200 AC/DC/RLY	500	500
1	HMI KTP 700 Basic PN	700	700
2	Breaker	10	20
15 m	Cable 18 y 14	0.50	7.5
1	Variador de frecuencia CFW300	270	270
1	Otros elementos	60	60
Total			1557,5\$

4.8.3. Total del costo de la máquina

En tabla 28 se detalla el costo total de la máquina, donde se incluye la sumatoria de cada uno de los elementos, tanto de componente eléctricos, control y mecánicos.

Tabla 28. Valor de la máquina

Detalle	Valor [\\$]
Valor de componentes mecánicos y materiales	960
Valor de componentes eléctricos y control	1557,5
Total	2517,5

Para evaluar la factibilidad del proyecto, se realiza un análisis del VAN y TIR, tomando en cuenta el diagrama de flujo de ingresos y egresos de la caja a 5 meses en el año 2023, en la tabla 29 se presenta la información requerida para el cálculo del VAN y TIR.

Tabla 29. Datos necesarios para el cálculo del VAN y TIR

Mes	Ingresos [\$]	Egresos [\$]	Flujo efectivo neto [\$]
Febrero	3506.50	2350.75	1155.75
Marzo	3580.80	2370.75	1210.05
Abril	3699.24	2430.35	1268.89
Mayo	3689.80	2400.15	1289.65
Junio	3745.50	2470.85	1274.65

Mediante la ayuda de los cálculos y fórmulas de Excel, utilizando los datos de la tabla 29, se evidencia en la tabla 30 el valor del VAN y TIR. De esta manera se garantiza la viabilidad del proyecto.

Tabla 30. Cálculos de VAN y TIR

Cálculos	
TIR	39.09%
VAN	\$ 2.158,86

CONCLUSIONES

- Se realizó la indagación y el estudio del estado del arte, referente al proceso que conlleva la elaboración de las humas, en este proceso están inmersos los diferentes tipos de molino, de los cuales la mejor opción son los molinos semiautomáticos debido a que permite aumentar la productividad y la reducción de tiempos muertos en la producción del producto.
- Se empleó el programa Solidworks para la elaboración del diseño CAD de todos los elementos que componen la máquina, con el objetivo de mejorar los elementos críticos a través del análisis de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad, mediante este estudio se obtuvo un factor de seguridad de 326,22 en la estructura, el eje del tornillo extrusor es 5.07 y en la tolva 25.8, lo cual permite garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.
- Se diseñó el sistema de control y automatización mediante el motor WEG monofásico que se dispone y con la utilización del variador de frecuencia se modifica la velocidad de 1720 a 500 revoluciones por minuto para proteger el tornillo extrusor y el actuador de estar trabajando a cargas máximas en todo momento, teniendo un parámetro par motor de 7.12 N.m. garantizando una molienda fina.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con cargas sobredimensionadas para rediseñar los elementos críticos de la máquina, para obtener piezas que en el funcionamiento puedan trabajar y satisfacer necesidades correctamente.
- Se recomienda utilizar el autómata programable PLC LOGO en una implementación futura, debido a que el controlador es más económico que un PLC S7-1200.
- Cuando la máquina se construya se recomienda capacitar al usuario, para la operación de la máquina mediante su HMI, debido a los diferentes parámetros que se establecieron para el funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. López, «BON VIVEUR,» 11 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.bonviveur.es/recetas/humitas-ecuatorianas>.
- [2] M. Herrera, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO ELECTRICO,» Junio 2009. [En línea]. Available: <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/482>.
- [3] MAQUINARIA DE JARDINERIA, «Molinos para grano y cereales. Usos y tipos,» 09 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://maquinariadejardineria.net/blog/molinos-grano-cereales-usos-tipos/>.
[Último acceso: 10 Enero 2023].
- [4] INGESEC, «INGESEC,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.ingesecltda.com/product/molino-de-discos-ing-m-120/>. [Último acceso: 10 Junio 2023].
- [5] V. Chio, «Issuu,» 2021. [En línea]. Available: <https://issuu.com/vanessachio123/docs/pds-vcc-u3-catalago.de.reductores.pptx/s/13750412>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [6] ALNICOLSA, «Molinos de Martillos,» ALNICOLSA, 2023. [En línea]. Available: <https://taninos.tripod.com/molinosmartillo.htm>. [Último acceso: 10 Febrero 2023].
- [7] Bauuman, «Bauuman ENERGY EFICIENCY,» Bauuman, 17 Septiembre 2019. [En línea]. Available: [https://www.bauuman.com/cuales-son-las-prestaciones-de-una-batidora-industrial/..](https://www.bauuman.com/cuales-son-las-prestaciones-de-una-batidora-industrial/) [Último acceso: 20 Diciembre 2022].
- [8] A. Farina, «Editores-srl.com.ar,» Abril 2018. [En línea]. Available:

https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie330_farina_motores_electricos.pdf.

- [9] CTO, «CAPACITACIÓN TÉCNICA,» 9 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://capacitaciontecnica.com.ar/2019/11/09/como-funciona-un-motor-electrico/>.
- [10] COMPAÑIA SURAMERICANA DE SEGUROS S.A, «Curso Motores Eléctricos,» 2022 10 19. [En línea]. Available: Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51957181/10__Motores_Electricos-libre.pdf?1488223192=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCURSO_MOTORES_ELECTRICOS.pdf&Expires=1671625921&Signature=Kcw9LVmFxxMgaJQmBtK7j1XahoRelp2IQIvJDYUr0T~o. [Último acceso: 28 Diciembre 2022].
- [11] M. Salvatori, «Catarina UDLAP,» 11 Diciembre 2003. [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/salvatori_a_m/capitulo3.pdf. [Último acceso: 09 Febrero 2023].
- [12] S. Chapman, Máquinas Eléctricas, Houston: MC Graw Hill, 2002.
- [13] S&P, «S&P: ¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?,» 07 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>. [Último acceso: 20 Febrero 2023].
- [14] AyJ TRANSMISIONES Y EQUIPOS, «ajtransmisiones,» UTN Facultad Regional San Francisco, 12 Junio 2020. [En línea]. Available: Available: <https://www.ajtransmisiones.com/blog/tipos-de-sistema-de-transmision..> [Último acceso: 28 Diciembre 2022].

- [15] J. Ramírez, «EPRINTS,» 12 06 2020. [En línea]. Available: <http://eprints.uanl.mx/4928/1/1020146048.PDF>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [16] K. Ochoa y P. Garcia, «CORE AC,» [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398604.pdf>. [Último acceso: 15 Diciembre 2022].
- [17] J. Flores, «Licenciatura,» de *Sistemas de transmisiones mecánicas*, San Andrés, Universidad Mayor de San Andrés, 2012, p. 21.
- [18] Comercial Pacific, «ComercialPacific,» 13 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.cpacific.cl/blog/tipos-de-transmisiones-de-potencia>.
- [19] R. Budynas y K. Nisbett, «Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México, McGraw-Hill Interamericana, 2008, pp. 887-888.
- [20] S. Meléndez, «GrabCad Community,» 2021. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/sam.melendez-2>.
- [21] DIPAC, «Dipac,» pp. 56-57, 2023.
- [22] García Servicios y Suministros Industriales, «Todo para la industria,» García Servicios y Suministros Industriales, 29 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://todoparalaindustria.com/blog/que-es-el-acero-inoxidable-composicion-y-propiedades/#:~:text=Propiedades%20del%20acero%20inoxidable,-Gracias%20a%20su&text=Entre%20las%20m%C3%A1s%20importantes%2C%20po>. [Último acceso: 20 Diciembre 2022].
- [23] J. Prado y J. Cabrera, «CARACTERIZACIÓN TERMIMECÁNICA DE

ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS AISI - 304,» de *CARACTERIZACIÓN TERMIMECÁNICA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS AISI - 304*, Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2002, p. 11.

- [24] INDUSTRIAS GSL, «GSL Industrias,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://industriagsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>.
- [25] Autycom, «AUTYCOM Innovación Inteligente,» 25 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.autycom.com/5-mejores-plc-de-siemens/>.
- [26] SIEMENS, «Industry Mall,» 23 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1BG40-0XB0>.
- [27] SIEMENS, «Industry Mall,» 23 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ED1055-1CB00-0BA2>.
- [28] AUTYCOM, «AUTYCOM Innovación Inteligente,» 17 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>.
- [29] Ubuy, «Ubuy,» [En línea]. Available: <https://www.ubuy.co.id/en/product/FFYZGGA-dy510-load-cell-transmitter-4-20ma-weighing-sensor-weight-transmitter-amplifier>.
- [30] G. Mikell, «Fundamentos de la manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas,» de *Fundamentos de la manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*, México, Prentice Hall Hispanoamericana S.A, 1996, p. 314.
- [31] J. Novillo, D. Hernández, B. Mazón, J. Molina y O. Cárdenas, ARDUINO

Y EL INTERNET DE LAS COSAS, Alicante: Área de Innovación y Desarrollo,
S.L, 2018.

[32] D. Bolaños, «Características técnicas del ARDUINO UNO,» [En línea].

Available:

<https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/CaracteristicasArduino.pdf>.