

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Rehabilitación mecánica de la maquina especializada para la fabricación de mallas
eslabonadas.

INGE-2408

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en mecánica.

Presentado por:

Angel Michel Blacio Zuñiga.

Guayaquil - Ecuador

Año:

2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios por bendecirme con una familia que me ama y me apoya, que me ha inculcado siempre a ir por buenos pasos y a levantarme más fuerte cada vez que caigo. A mis padres, quienes, con amor incondicional y sacrificio, me brindaron la oportunidad de cumplir mi sueño de ser ingeniero mecánico. A mis hermanos y sobrinas, a quienes espero ser un ejemplo a seguir. A mi Candy, que siempre supo quedarse conmigo en esas largas noches de estudio. A mis tutores de tesis y al CDTS, por su invaluable orientación, paciencia y alentarme a no darme por vencido cuando parecía que todo estaba perdido. A mis amigos y a todas las personas que formaron parte de mi vida universitaria. Su apoyo y amistad han sido fundamentales en este camino.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a la ESPOL por haberme formado como persona. En el año 2018, ingresé como un niño temeroso e inseguro, y ahora, en 2024, me graduaré como un hombre formado y lleno de valores que representará en todo lugar los principios fundamentales de la institución. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia por estar siempre a mi lado, tanto en los momentos buenos como en los malos, por su apoyo incondicional y por alentarme a ser mejor cada día, en especial por convencerme de presentarme al examen de admisión aquel día en 2017. También quiero agradecer a cada uno de mis docentes, quienes siempre supieron compartir sus conocimientos con nosotros, los estudiantes. Su dedicación y enseñanzas han dejado una marca indeleble en mi formación académica y personal.

Declaración Expresa

Yo Angel Michel Blacio Zuñiga acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 6 de febrero del 2024.



Angel Michel Blacio Zuñiga

Evaluadores

Emérita Alexandra Delgado Plaza, PhD.

Profesora de Materia

Juan Manuel Peralta Jaramillo, PhD.

Tutor de Proyecto

Ernesto Rolando Martínez Lozano, Ing.

Tutor de Proyecto

Resumen

Este proyecto abordó la rehabilitación mecánica de una máquina especializada de mallas eslabonadas, encontrada en estado de abandono en una bodega dentro del campus de la ESPOL. Fabricada en 2003, la máquina es propiedad del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable. Inicialmente carente de sistema de transmisión, motor y con muchos componentes oxidados y cubiertos de suciedad, el cliente proporcionó el motor y otros elementos eléctricos y mecánicos necesarios para su operación.

Mediante una matriz de decisión orientada por los requisitos del cliente y factores de influencia, se optó por la implementación de un variador de frecuencia y un sistema de transmisión de poleas. Se realizaron aproximaciones para el motor, las poleas y las bandas utilizando asunciones teóricas y ecuaciones matemáticas, las cuales luego se compararon con los valores reales.

Después de poner en marcha la máquina, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento para determinar la frecuencia ideal de operación y las revoluciones por minuto de la polea conducida, que transmite movimiento al eje encargado de generar el alambre eslabonado. Gracias a la aplicación del variador, la velocidad de salida del alambre puede ser regulada según los requerimientos de operación.

Con la máquina en funcionamiento, surgió la decisión de retirar el embrague magnético debido a la presencia del variador, lo que condujo a un rediseño de la máquina.

Palabras Clave: Rehabilitación, Frecuencia, Revoluciones, Poleas.

Abstract

This project addressed the mechanical rehabilitation of a specialized chain link machine, found in a state of abandonment in a warehouse on the ESPOL campus. Manufactured in 2003, the machine is property of the Center for Sustainable Technological Development. Initially lacking a transmission system, engine and with many components rusted and covered in dirt, the client provided the engine and other electrical and mechanical elements necessary for its operation.

Through a decision matrix guided by customer requirements and influencing factors, the implementation of a frequency converter and a pulley transmission system was chosen. Approximations were made for the motor, pulleys and belts using theoretical assumptions and mathematical equations, which were then compared to actual values.

After starting the machine, operational tests were carried out to determine the ideal operating frequency and revolutions per minute of the driven pulley, which transmits motion to the shaft responsible for generating the linked wire. Thanks to the application of the variator, the wire output speed can be regulated according to the operating requirements.

With the machine in operation, the decision was made to remove the magnetic brake, since it did not fulfill any function due to the presence of the variator, which led to a design improvement.

Keywords: Rehabilitation, Frequency, Revolutions, Pulleys.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	X
Índice de planos	XI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.5 Marco teórico.....	4
1.5.1 <i>Mallas eslabonadas</i>	4
1.5.2 <i>Maquinas fabricadoras de mallas eslabonadas</i>	5
1.5.3 <i>Funcionamiento de maquina fabricadora de mallas eslabonadas</i>	13
Capítulo 2	16
2.1 Introducción.....	17
2.2 Requerimientos del cliente.....	19
2.3 Estado actual de la maquina y valoración de sus componentes.....	20
2.4 Factores de influencia del proyecto y evaluación por pares.....	23
2.5 Alternativas para el rediseño del equipo	25

2.5.1 Sistema de reducción de velocidad.....	25
2.5.2 Sistema de transmisión de potencia.....	28
2.6 Ecuaciones principales y cálculo de las especificaciones generales de diseño	30
2.6.1 Velocidad promedio de salida del alambre	30
2.6.2 Fuerza total ejercida sobre la platina de arrastre.....	30
2.6.3 Potencia requerida del motor.....	32
2.6.4 Velocidad de la polea conducida	33
2.6.5 Aplicación del variador de frecuencia.....	34
2.6.6 Diámetros de las poleas	35
2.6.7 Ángulos de contacto de la banda	36
2.6.8 Longitud de banda	38
2.7 Diseño de forma de la maquina	39
Capítulo 3	41
3.1 Introducción.....	42
3.2 Análisis de costos	42
3.2.1 Costos directos	42
3.2.2 Costos indirectos	48
3.2.3 Costo total del proyecto.....	49
3.3 Etapas de rehabilitación.....	50
3.3.1 Etapa#1: Rediseño del equipo: planos y modelado	50
3.3.2 Etapa#2: Preparación de los componentes eléctricos y mecánicos de la máquina	52
3.3.3 Etapa#3: Ensamblaje del sistema de reducción de velocidad.....	55
3.3.4 Etapa#4: Colocación del sistema de transmisión de potencia	57
3.3.5 Mejora final de la maquina especializada	60
3.4 Resultados del proyecto.....	64
3.4.1 Sistema de reducción de velocidad.....	64

3.4.2 Sistema de transmisión de potencia.....	67
3.4.3 Operación conjunta de ambos sistemas	68
3.4.4 Evaluación del equipo en operación	72
3.5 Análisis de resultados del proyecto	74
Capítulo 4	76
4.1 Conclusiones y recomendaciones	77
4.1.1 Conclusiones	77
4.1.2 Recomendaciones	79
Referencias	81
Anexos	83

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

CDTS Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable

Simbología

RPM	Revoluciones por minuto
Hz	Hercio
A	Amperaje
V	Voltaje
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro

Índice de figuras

Ilustración 1. <i>Malla eslabonada o malla de ciclón</i> [3]	4
Ilustración 2. <i>Maquina BCA-97</i> [6]	5
Ilustración 3. <i>Máquina BCA-015</i> [6].....	7
Ilustración 4. <i>Maquina CFL-4</i> [7]	8
Ilustración 5. <i>Maquina WVR-500</i> [8]	10
Ilustración 6. <i>Maquina MT1000</i> [10]	11
Ilustración 7. <i>Casquillo encargado de la forma y el tamaño de los eslabones del alambre</i> [11].	13
Ilustración 8. <i>Base para el rollo del alambre</i> [11].....	14
Ilustración 9. <i>Dados de tensión</i> [11]	14
Ilustración 10. <i>Alambre eslabonado</i> [12]	15
Ilustración 11. <i>Diagrama de flujo de la estructura del proyecto</i>	18
Ilustración 12. <i>Requerimientos del cliente</i>	19
Ilustración 13. <i>Estado actual de la maquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas</i>	22
Ilustración 14. <i>Plano del diseño original de la maquina</i> [13]	22
Ilustración 15. <i>Plano original del casquillo de la maquina especializada</i> [13]	30
Ilustración 16. <i>Resistencia máxima a la tracción del alambre</i> [11]	31
Ilustración 17. <i>Plano del sistema de transmisión de potencia en base a las asunciones de diseño</i>	35
Ilustración 18. <i>Diseño de forma de la maquina especificando las mejoras</i>	39
Ilustración 19. <i>Diseño de forma del sistema de transmisión de la maquina</i>	40
Ilustración 20. <i>Modelado 3D del rediseño de la maquina</i>	51
Ilustración 21. <i>Modelado 3D del sistema de transmisión de potencia</i>	51
Ilustración 22. <i>Piezas mecánicas pintadas y ensambladas</i>	52
Ilustración 23. <i>Preparación de la caja para tablero eléctrico previo al pintado</i>	53
Ilustración 24. <i>Motor Lincoln A.C. Motor de 2 HP pintado</i>	54
Ilustración 25. <i>Tapa fabricada para cubrir los cables ya ensamblada en el motor</i>	54
Ilustración 26. <i>Instalación del circuito eléctrico del variador</i>	55
Ilustración 27. <i>Botones de mando para la operación de la máquina</i>	56
Ilustración 28. <i>Circuito de mando para la operación de la máquina</i>	56

Ilustración 29. <i>Maquina ensamblada en la etapa#3</i>	57
Ilustración 30. <i>Mecanizado de la polea de 10 pulgadas</i>	57
Ilustración 31. <i>Compatibilidad entre la polea de 10 pulgadas y el embrague magnético</i>	58
Ilustración 32. <i>Polea empernada al embrague magnético</i>	59
Ilustración 33. <i>Banda en V colocada en la polea de 10 pulgadas</i>	59
Ilustración 34. <i>Maquina ensamblada y lista para las pruebas de funcionamiento</i>	60
Ilustración 35. <i>Modelado 3D de la mejora implementada a la extracción del embrague</i>	61
Ilustración 36. <i>Modelado 3D del nuevo eje y sus componentes ensamblados</i>	61
Ilustración 37. <i>Mejora implementada para la operación del equipo sin la presencia del embrague magnético</i>	62
Ilustración 38. <i>Base fabricada para que la chumacera mantenga nivelado el eje</i>	62
Ilustración 39. <i>Maquina especializada rehabilitada</i>	63
Ilustración 40. <i>Grafica Frecuencia Vs Velocidad Angular obtenida en las pruebas de vacío</i>	65
Ilustración 41. <i>Grafica Velocidad Angular Vs Amperaje obtenida en pruebas de vacío</i>	66
Ilustración 42. <i>Grafica Frecuencia Vs Velocidad Angular obtenida en pruebas de operación de ambos sistemas</i>	70
Ilustración 43. <i>Grafica Velocidad Angular Vs Voltaje obtenida en pruebas de vacío</i>	71
Ilustración 44. <i>Alambre #16 eslabonado</i>	72
Ilustración 45. <i>Un metro de alambre eslabonado por la maquina</i>	73
Ilustración 46. <i>Alambre eslabonado tejido para formar la malla</i>	74

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Características técnicas del BCA-97</i>	6
Tabla 2. <i>Características técnicas del BCA-015</i>	7
Tabla 3. <i>Características técnicas del CFL-4</i>	9
Tabla 4. <i>Características técnicas de la maquina WVR-500</i>	10
Tabla 5. <i>Características técnicas de la MT100</i>	12
Tabla 6. <i>Componentes mecánicos existentes en el equipo</i>	20
Tabla 7. <i>Componentes eléctricos existentes en el equipo</i>	21
Tabla 8. <i>Componentes del diseño original de la maquina según el plano [13]</i>	23
Tabla 9. <i>Factores de influencia con su descripción</i>	24
Tabla 10. <i>Matriz de ponderación por pares</i>	25
Tabla 11. <i>Posibles soluciones para el sistema de reducción de velocidad</i>	26
Tabla 12. <i>Tabla de alternativas de rediseño del sistema de reducción de velocidad</i>	27
Tabla 13. <i>Posibles soluciones para el sistema de transmisión de potencia</i>	28
Tabla 14. <i>Tabla de alternativas de rediseño del sistema de transmisión de potencia</i>	29
Tabla 15. <i>Costos de los componentes</i>	43
Tabla 16. <i>Costos de materiales / Consumibles</i>	45
Tabla 17. <i>Costos de mecanizado de elementos del sistema de transmisión de potencia</i>	46
Tabla 18. <i>Costos por mano de obra</i>	47
Tabla 19. <i>Costos indirectos del proyecto</i>	48
Tabla 20. <i>Costos totales del proyecto</i>	49
Tabla 21. <i>Datos por las pruebas de funcionamiento del sistema en vacío</i>	64
Tabla 22. <i>Datos por las pruebas de operación conjunta entre ambos sistemas</i>	69

Índice de planos

PLANO 1 Maquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas

PLANO 2 Sistema de transmisión

PLANO 3 Mesa de mallado

PLANO 4 Diagrama eléctrico

Capítulo 1

1.1 Introducción

Las mallas eslabonadas representan una solución rápida y económica capaz de ser adaptada a diversos terrenos, ambientes y aplicaciones, como obras, parques, jardines, instalaciones industriales, instalaciones deportivas, etc. Esto ha generado un creciente interés de los fabricantes artesanales e industriales en diseñar y fabricar máquinas dedicadas para dicho trabajo.

La gran parte de empresas destinadas a la fabricación de maquinaria especializada a este proceso suele encontrarse en países industrializados como Estados Unidos, Rusia e India. Por lo tanto, es complicado obtener información minuciosa acerca de estos dispositivos, ya que los fabricantes tienden a ser muy cautelosos en cuanto a la tecnología utilizada. Estas maquinarias industrializadas no representan un alto costo de compra a empresas de mallado o individuos, no obstante, su costo de mantenimiento y transporte suelen ser elevado. Por ello muchos de los clientes suelen buscar la fabricación local.

La máquina de mallado por su sencilla operación, la disponibilidad de sus componentes en el mercado nacional y su accesible construcción permite la posibilidad de ser replicada de manera artesanal.

El Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la ESPOL es propietario de una máquina especializada en la fabricación de mallas eslabonadas fabricada inicialmente por el tecnólogo Vargas, sin embargo, actualmente no está operativa por falta de partes como el motor, sistema de transmisión, entre otros. Esta máquina consta de un funcionamiento simple pero eficaz, por ello inicialmente está destinada al campo didáctico de la ingeniería mecánica. El interés de los propietarios en rehabilitarla parte de la oportunidad de satisfacer una posible necesidad del campus, fabricar el mallado de forma artesanal y reducir el presupuesto destinado a dicho rubro.

1.2 Descripción del problema

El Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) busca rehabilitar mecánicamente la maquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas para fines didácticos. Actualmente no se encuentra disponible para su operación por la ausencia de partes y piezas. La máquina fue recuperada sin el sistema de transmisión, parcialmente desarmada y en malas condiciones, encontrándose abandonada en el área de tecnologías de ESPOL. Sin embargo, a partir de lo establecido por el grupo de mantenimiento e infraestructura de la ESPOL, se destina una cantidad importante del presupuesto en compras de mallas eslabonadas para cubrir las áreas de la institución. Por ello es de suma importancia rehabilitar mecánicamente esta máquina la cual representa una clara oportunidad en la reducción de dicho presupuesto.

1.3 Justificación del problema

El Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) requiere la maquina habilitada mecánicamente para ser utilizada de forma didáctica en cursos enfocados a la ingeniería mecánica.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el sistema de transmisión adecuado para el funcionamiento de la máquina de malla eslabonada aplicando ingeniería inversa.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar los componentes mecánicos y eléctricos del equipo para obtener una valoración sobre su uso final.
2. Diseñar el sistema de transmisión aplicando conceptos de ingeniería mecánica.
3. Valorar el funcionamiento de la maquina a través de pruebas experimentales.

1.5 Marco teórico

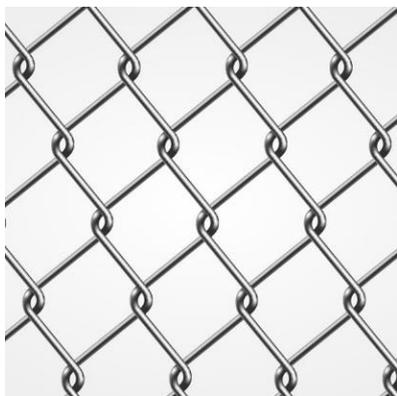
1.5.1 Mallas eslabonadas

La malla eslabonada o malla de ciclón es un tejido en forma de rombo con enlazado transversal, fabricado en alambre galvanizado con remate cerrado en los dos extremos tal como se observa en la ilustración 1 [1].

Este estilo de enrejado es altamente solicitado debido a su alta seguridad, sencilla instalación y fácil mantenimiento. Se destaca por ser adecuada en aplicaciones industriales y urbanas, incluyendo el cierre de carreteras, la demarcación de áreas en terrenos agrícolas y ganaderos, así como su empleo como medida de protección para residencias. Además, su diseño garantiza que su instalación no tenga un impacto negativo en el entorno ambiental [2].

Ilustración 1.

Malla eslabonada o malla de ciclón [3]



La alta demanda de la malla eslabonada se debe a su versatilidad, ya que se adapta a una amplia variedad de terrenos, entornos y aplicaciones, por ello se comercializan en diferentes calibres y diámetros del alambre galvanizado [4]. A esto hay que sumar su bajo precio, resistencia y seguridad [5].

1.5.2 Maquinas fabricadoras de mallas eslabonadas

En la actualidad, la fabricación de mallas de alambre es altamente beneficiosa para empresas de diversos tamaños en todo el mundo. Los fabricantes dedicados a producir estos dispositivos ofrecen máquinas con capacidades manuales, semiautomáticas y automáticas.

SESTA – Rusia.

La empresa SESTA ubicada en Rusia comenzó operaciones en 1889, se ha enfocado en el desarrollo y producción de máquinas destinadas a la manufactura de tejidos de alambrados metálicos, como las mallas, destacándose como pioneros en esta industria. Desde sus inicios SESTA ha producido más de 900 máquinas para la producción de mallas tejidas o mallas eslabonadas [6].

Uno de los activos que forman parte del catálogo de SESTA es la maquina BCA-97 fabricada desde 1997 (Ilustración 2), caracterizada de su sencillo mantenimiento y reparación, por el hecho que sus piezas son diseñadas a medidas estandarizadas, incluyendo piezas de automóviles, permitiendo ubicarlas fácilmente. Esta máquina permite la fabricación de mallas en el rango de 15 a 60 mm de apertura o separación longitudinal [6].

Ilustración 2.

Maquina BCA-97 [6]



En la tabla 1 se muestran las características técnicas de la BCA-97. Según el fabricante, esta ha demostrado alta confiabilidad operativa. La máquina no requiere supervisión especial de instalación; simplemente se necesita un operador para manejar de 2 a 3 máquinas, adicionalmente se requiere un espacio de 18 metros cuadrados para un funcionamiento normal [6].

Tabla 1.

Características técnicas del BCA-97

Peso	700 Kg
Consumo	2.6 kW
Frecuencia	50 Hz
Voltaje	380 V (Trifásico)
Diámetro del alambre	1 a 3 mm
Tamaño de celda	15 – 60 mm

Nota. Datos tomados de la página oficial del fabricante SESTA (2023) [6].

Actualmente se está produciendo una modificación del BSA-97 producido durante muchos años, el cual tiene la denominación de BSA-015 (Ilustración 3). La principal diferencia radica en que la malla enrollada es colocada en un rollo sin necesidad de un tubo interno, lo que facilita la extracción de los rollos sin interrumpir la operación de la maquina y a su vez una reducción en el espacio de trabajo necesario, tal como indica el fabricante SESTA [6].

Ilustración 3.*Máquina BCA-015 [6]*

En la tabla 2 se detallan las características técnicas del BCA-015 destacando una notoria disminución en el consumo eléctrico en comparación a su hermano menor BCA-97, de igual manera en el peso de la máquina.

Tabla 2.*Características técnicas del BCA-015*

Longitud	4200 mm
Ancho	2200 mm
Altura	1700 mm
Peso	620 kg
Consumo	2.2 kW
Voltaje	380 V (Trifásico)
Diámetro del alambre	1 a 3 mm
Tamaño de celda	15 – 60 mm

Nota. Datos tomados de la página oficial del fabricante SESTA (2023) [6].

Maneklal & sons – India.

Popularmente conocida simplemente como MANEK, es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de maquinaria desde 1930. Uno de estos equipos es el CLF-4 maquina semi automática especializada para fabricar cercado eslabonado, ilustración 4 [7].

Ilustración 4.

Maquina CFL-4 [7]



La CFL-4 se caracteriza por requerir de intervención humana al momento del corte y tejido del alambre, únicamente el zigzagado del alambre es automático. En la tabla 3, las especificaciones técnicas se destaca un motor eléctrico de tres caballos de fuerza (3 HP) y una capacidad de producción de 8 a 8.5 metros por minuto [7].

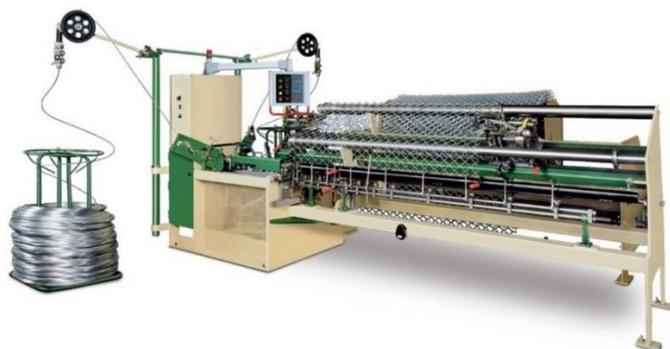
Tabla 3.*Características técnicas del CFL-4*

Tamaño de celda	25 – 150 mm
Diámetro de alambre	2 – 4 mm
Ancho	Según requerimiento
Capacidad de producción	8 a 8.5 m/min
Motor	3 HP
Peso Neto / Bruto	550 / 900 kilos
Dimensiones	1.7 x 1.4 x 1.4 m
Volumen del embarque	3.50 m ³

Nota. Datos tomados de la página oficial del fabricante Maneklal & sons (2023) [7].

BERGANDI – USA.

Con más de 90 años de experiencia en el diseño y fabricación de maquinaria, Bergandi Machinery ofrece una amplia gama de equipos de soldadura, procesamiento y conformado de alambre. La principal base de clientes abarca las industrias de cercado, construcción, minería y agricultura. Este fabricante ofrece la WVR-500 maquina tejedora de mallas de eslabones de cadena, cuenta con un diseño y tecnología avanzado y de última generación, garantizando una producción máxima y un mínimo tiempo de inactividad, ilustración 5 [8].

Ilustración 5.*Maquina WVR-500 [8]*

La tabla 4, muestra las características técnicas de la maquina WVR-500, considerada por el fabricante como la maquina más versátil del mercado actual gracias a su sistema digitalizado de control el cual poder programar configuraciones específicas del producto [8].

Tabla 4.*Características técnicas de la maquina WVR-500*

Alimentación eléctrica	460 vac / trifásico / 60 Hz / 30 amps
Alimentación neumática	6.7 m ³ /hr @ .55 N/mm ² (10 CFM @ 80 PSI)
Altura de la malla	0.6 a 6 m (Dependiendo de la configuración de la maquina)
Tamaño de celda	10 mm – 100 mm
Velocidad de producción	260 m ² por hora
Diámetro de alambre	1.8 mm a 4.9 mm

Nota. Datos tomados de la página oficial del fabricante BERGANDI (2023) [8].

TELAS E ARAMES JAVALI – BRASIL.

Javali es una empresa que cuenta con más de 15 años de operación, especializada en ofrecer a sus clientes la fabricación de mallas para cerramientos y su instalación, certificando la calidad de los servicios y de los materiales. El valor agregado que brinda el fabricante es el criterio de calidad y valor al momento de elegir la materia prima, de esa forma según el fabricante, se brinda a sus clientes un producto de calidad con garantía de fábrica e informes técnicos [9].

Uno de sus principales equipos en Stock es la MT100 (Ilustración 6), la cual es una máquina semi automática con un sistema de accionamiento a pedal, capacitada para fabricar mallas desde los 3 metros hasta los 10 metros [10].

Ilustración 6.

Maquina MT1000 [10]



En la tabla 5, se observan las características técnicas y la capacidad de operación de la maquina MT100 dictadas por el fabricante.

Tabla 5.

Características técnicas de la MT100

Alimentación eléctrica	Motor monofásico Weg o Hércules (Según el comprador) / 2 cv / 220 v o 110 v (Según el comprador)
Tamaño de celda	12 mm – 120 mm
Producción mínima	100 m ² por día
Producción máxima	270 m ² por día
Tipos de alambres	Alambre 10
	Alambre 12
	Alambre 14
	Alambre 16
	Alambre 18

Nota. Datos tomados de la página oficial del fabricante JAVALI (2023) [10].

1.5.3 Funcionamiento de maquina fabricadora de mallas eslabonadas

El motor es el responsable de general el movimiento y transmitirlo por medio de cadenas al eje central de la máquina, el cual genera el entrelazado del alambre en un patrón romboidal. El eje central está vinculado a una herramienta matriz con una estructura en espiral denominada casquillo representado en la ilustración 7, la cual es la responsable de darle forma y tamaño a los eslabones del alambre.

Ilustración 7.

Casquillo encargado de la forma y el tamaño de los eslabones del alambre [11]



Los casquillos son alimentados con el alambre galvanizado, el cual se coloca en una base diseñada para permitir un desenrollamiento sencillo del rollo del alambre, ilustración 8. Este proceso se logra mediante la guía del alambre a través de una polea que facilita la aplicación de tensión a través de dados. Como se ve en la ilustración 9, los dados tienen la función de mantener la tensión adecuada y la orientación correcta del alambre durante la elaboración del tejido del producto. Por lo general, se disponen de manera alterna, uno arriba y otro abajo, respectivamente.

Ilustración 8.

Base para el rollo del alambre [11]

**Ilustración 9.**

Dados de tensión [11]



El alambre tensado por los dados es arrastrado por el eje que está en conexión con el casquillo para posteriormente obtener el eslabón requerido para formar la malla de alambre, tal como se observa en la ilustración 10.

Ilustración 10.

Alambre eslabonado [12]



Capítulo 2

2.1 Introducción

En este capítulo, se evaluaron las alternativas de solución para el rediseño del sistema de transmisión de la máquina especializada en la fabricación de mallas eslabonadas. El propósito fue atender los requisitos específicos del cliente CDTS y encontrar la mejor solución tanto para el sistema de reducción de velocidad como para el sistema de transmisión de potencia.

Dado que la máquina ha estado inactiva durante varios años, se llevó a cabo una evaluación de cada uno de sus componentes eléctricos y mecánicos. Este análisis fue crucial para seleccionar una alternativa que fuera económicamente viable y, al mismo tiempo, cumpliera con las expectativas del cliente.

Se utilizaron modelos matemáticos para el diseño del motor eléctrico requerido y del sistema de transmisión, compuesto por poleas y banda. Estos modelos fueron ajustados conforme a las características técnicas originales de funcionamiento de la máquina, fabricada inicialmente en el año 2003. Estos modelos incorporan asunciones teóricas adaptadas a los requisitos del proceso de mallado, que implican velocidades de rotación muy bajas. Una vez que la máquina esté ensamblada y en funcionamiento, será necesario realizar pruebas para comparar las asunciones teóricas mencionadas anteriormente con los resultados experimentales. Dicho análisis será detallado en el próximo capítulo.

A continuación, se ha estructurado este proyecto integrador a través de un flujograma, el cual consta de 12 etapas, como se detalla en la ilustración 11.

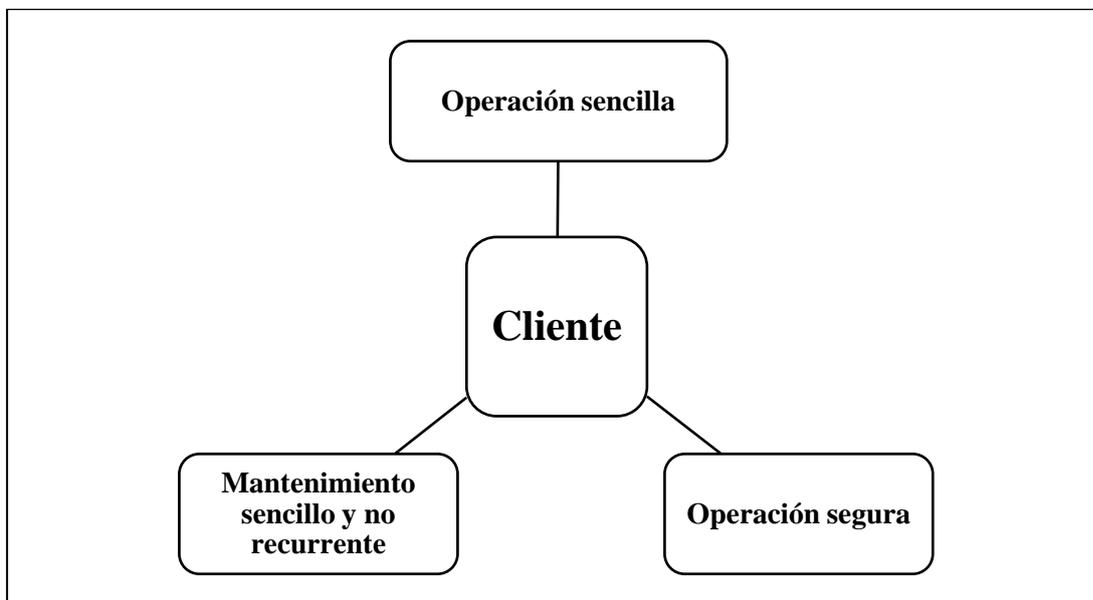
Ilustración 11.*Diagrama de flujo de la estructura del proyecto*

2.2 Requerimientos del cliente

La principal aplicación de esta máquina está destinada al ámbito didáctico, por lo que el cliente requiere primordialmente que sea sencilla y segura de operar (Ilustración 12). Además, se discutió otro tema importante, que es el mantenimiento, necesita que no sea complejo ni se presente como un problema recurrente.

Ilustración 12.

Requerimientos del cliente



2.3 Estado actual de la maquina y valoración de sus componentes

La máquina se encontró en las instalaciones del CDTS en el campus Gustavo Galindo, según lo que se pudo indagar al respecto, la maquina no ha sido operada desde 2003, año en la que fue fabricada. Actualmente no cuenta con motor, ni sistema de transmisión, y el sistema eléctrico requiere una revisión y mantenimiento correctivo.

Antes de llevar a cabo el rediseño, se efectuó una evaluación visual del estado de los componentes existentes en el equipo, tanto en la parte eléctrica como en la mecánica, según se detalla en las tablas 6 y 7. Esto permitió obtener una perspectiva más completa de la situación actual de la máquina antes de tomar decisiones sobre las posibles alternativas de rediseño.

Tabla 6.

Componentes mecánicos existentes en el equipo

Parte mecánica	
Componente	Estado actual
Chumaceras autoalineables – Acero especial / Ø32	No requiere cambio
Embrague magnético / Ø160x200	No requiere cambio
Acople flexible o Matrimonio – Acero especial / Ø65x95	No requiere cambio
Lengüeta de arrastre – Acero DF- 2 / 10x42x250	No requiere cambio
Eje del casquillo – Acero 705 / Ø35x260	No requiere cambio
Eje roscado porta lengüeta – Acero 705 / Ø35x90	No requiere cambio
Casquillo conformador – Acero 705 / Ø85x250	No requiere cambio
Bases porta chumaceras – Acero de transmisión / 70x70x180	No requiere cambio
Bases porta embrague magnético – Acero de transmisión / M 16	No requiere cambio
Base porta casquillo – Acero de transmisión / 500x500x1000	No requiere cambio

Tabla 7.*Componentes eléctricos existentes en el equipo*

Parte eléctrica	
Componente	Estado actual
Contactador Siemens Sirius 3RT1023-1A..0	Requiere cambio
Bloque interruptor auxiliar Siemens 3RH1921-1DA11	No requiere cambio
Transformador de 100V	Requiere cambio
Guardamotor Telemecanique GV2-M07 1.6-2.5A	Requiere cambio
Pulsadores de control: Start / Stop / Emergency Stop	Requiere cambio

Aunque la parte eléctrica se vio más afectada debido al largo periodo de inactividad, la parte mecánica está en su mayoría en óptimas condiciones. Esto no representó un obstáculo significativo en la selección de alternativas de solución previo a la matriz de decisión.

En la Ilustración 13 se muestra la máquina en su estado actual, mientras que en la Ilustración 14 se presenta el plano de la máquina en su diseño original. Esto permite evidenciar la ausencia de los componentes necesarios para su correcta operación, según el listado de componentes del plano original (Tabla 8).

Ilustración 13.

Estado actual de la maquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas

**Ilustración 14.**

Plano del diseño original de la maquina [13]

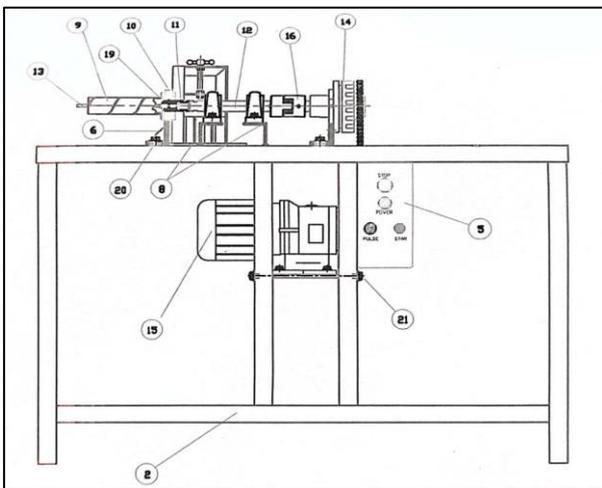


Tabla 8.*Componentes del diseño original de la maquina según el plano [13]*

Posición en el plano	Componente
2	Mesa malladora
5	Panel de control
6	Base por casquillo
8	Bases para chumaceras
9	Casquillo conformador
10	Tuerca del casquillo
11	Eje roscado porta lengüeta
12	Eje del casquillo
13	Lengüeta de arrastre
14	Embrague magnético
15	Motorreductor
16	Acople flexible
19	Pasador
20	Pernos hexagonales M12x30
21	Pernos hexagonales M14x30

2.4 Factores de influencia del proyecto y evaluación por pares

Este proyecto busca la rehabilitación mecánica de la maquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas, tomando como condiciones ciertos factores de influencia requeridos por el cliente, tabla 9.

Tabla 9.*Factores de influencia con su descripción*

Factor de influencia	Descripción
Manejo del equipo	Operación sencilla de la máquina, es decir segura y sin complicaciones. Con la finalidad de prevenir accidentes por la manipulación inapropiada del equipo.
Velocidad de entrelazado	Parámetros por tomar en cuenta: capacidad de producción, motor, abertura de la malla, diámetro del alambre, tipo de material del alambre.
Requerimientos de operación	Necesidades: Espacio adecuado de operación, alimentación eléctrica, materia prima a utilizar.
Ciclos de mantenimiento	Mantenimiento sencillo y no recurrente, únicamente cada: <ul style="list-style-type: none"> • 50 horas de operación. • 100 horas de operación. • 500 horas de operación.
Costos de rehabilitación	Indicador del costo de los materiales, piezas, mano de obra, y así establecer el financiamiento del proyecto. Este monto varía según el estado del equipo.

A continuación, se presenta la matriz de ponderación por pares (Tabla 10), la cual fue utilizada para comparar los factores de influencia definidos anteriormente y asignar ponderaciones a dichas comparaciones.

Tabla 10.

Matriz de ponderación por pares

Factor de influencia	Manejo del equipo	Velocidad de entrelazado	Requerimientos de operación	Ciclos de mantenimiento	Costos de rehabilitación	Calificación	Peso
Manejo del equipo	-----	2	1	2	3	8	0.20
Velocidad de entrelazado	1	-----	1	1	1	4	0.10
Requerimientos de operación	3	3	-----	2	2	10	0.24
Ciclos de mantenimiento	2	3	2	-----	3	10	0.24
Costos de rehabilitación	3	3	2	1	-----	9	0.22
Total						41	1

2.5 Alternativas para el rediseño del equipo

2.5.1 Sistema de reducción de velocidad

Antes de evaluar las alternativas en la matriz de decisión para el rediseño del equipo, se seleccionaron cinco soluciones posibles para el sistema de reducción de velocidad (Tabla 11), conforme a las especificaciones teóricas calculadas en el literal 2.6.

Tabla 11.*Posibles soluciones para el sistema de reducción de velocidad*

Posibles soluciones	Descripción
Diseño 1	Compra de un motor reductor de 2 HP y una velocidad final de rotación del eje de 130 Rpm.
Diseño 2	Compra de un reductor de velocidad, acoplarlo por medio de un matrimonio al motor de 2 HP donado por el cliente CDTS y llegar a las 130 Rpm deseadas.
Diseño 3	Compra un variador de frecuencia capaz de operar junto al motor de 2 HP de CDTS a bajas revoluciones.
Diseño 4	Instalación de un sistema de 6 poleas capaz de reducir 1725 Rpm del motor donado a 130 Rpm.
Diseño 5	Reutilizar las 2 catalinas originales de la maquina e instalar 4 poleas al sistema de transmisión y así llegar a las 130 Rpm.

Se evaluaron diversas alternativas para el rediseño del sistema de reducción de velocidad (Tabla 12), tomando en consideración los factores de influencia mencionados anteriormente. El objetivo fue identificar la alternativa más favorable para la rehabilitación del equipo, siempre teniendo en cuenta los requisitos del cliente. Los criterios de evaluación se definen en la siguiente escala que va de 1 a 3, en la cual:

- 1 = Menos importante
- 2 = Medianamente importante
- 3 = Mas importante

Tabla 12.

Tabla de alternativas de rediseño del sistema de reducción de velocidad

Criterios y ponderaciones		Manejo del equipo 20%	Velocidad de entrelazado 10%	Requerimientos de operación 24%	Ciclos de mantenimiento 24%	Costos de rehabilitación 22%	Total 100%
Diseño 1	Ponderación	3	3	2	1	3	2.28
	Resultado	0.60	0.30	0.48	0.24	0.66	
Diseño 2	Ponderación	2	2	2	2	2	2
	Resultado	0.40	0.20	0.48	0.48	0.44	
Diseño 3	Ponderación	3	2	2	1	3	2.18
	Resultado	0.60	0.20	0.48	0.24	0.66	
Diseño 4	Ponderación	1	2	2	3	1	1.82
	Resultado	0.20	0.20	0.48	0.72	0.22	
Diseño 5	Ponderación	1	2	2	3	1	1.82
	Resultado	0.20	0.20	0.48	0.72	0.22	

La tabla 12 determino que la opción más adecuada para el proyecto es el diseño 1, es decir la compra de un motor reductor de 2 HP y una salida de 130 Rpm. Sin embargo, un motor reductor de las características requeridas en el mercado ecuatoriano tiene un precio en el rango de los 500 a 800 dólares americanos. Por ende, la decisión óptima en temas económicos, y considerando los parámetros solicitados por el cliente, es el diseño 3, que obtuvo la segunda calificación más alta en la matriz. Este diseño se posiciona como la opción ideal para llevar a cabo este proyecto.

2.5.2 Sistema de transmisión de potencia

Una vez seleccionada la alternativa de reducción de velocidad, se evaluó cómo se transmitirá la potencia: a través de catalinas y cadena de transmisión, respetando el diseño original, o mediante poleas y banda plana (Tabla 13).

Tabla 13.

Posibles soluciones para el sistema de transmisión de potencia

Posibles soluciones	Descripción
Diseño 1	Transmisión de potencia por medio de poleas y una banda plana.
Diseño 2	Transmisión de potencia por medio de catalinas y una cadena.

A continuación, se evaluaron las dos alternativas para rediseño del sistema de transmisión de potencia (Tabla 14). Se aplicaron los mismos criterios de evaluación mencionados anteriormente, los cuales se definen en la siguiente escala del 1 al 3:

- 1 = Menos importante
- 2 = Medianamente importante
- 3 = Mas importante

Tabla 14.

Tabla de alternativas de rediseño del sistema de transmisión de potencia

Criterios y ponderaciones		Manejo del equipo 20%	Velocidad de entrelazado 10%	Requerimientos de operación 24%	Ciclos de mantenimiento 24%	Costos de rehabilitación 22%	Total 100%
Diseño 1	Ponderación	2	1	1	1	3	1.64
	Resultado	0.40	0.10	0.24	0.24	0.66	
Diseño 2	Ponderación	1	1	1	3	1	1.48
	Resultado	0.20	0.10	0.24	0.72	0.22	

Se señaló el diseño 1 como la alternativa más apropiada para el proyecto de acuerdo con los datos presentados en la tabla 14; es decir, un sistema de transmisión conformado por poleas y banda plana. De esta manera, se cumple el requerimiento del cliente de un mantenimiento no recurrente, ya que, de haberse seleccionado la cadena, esta necesitaría una lubricación constante.

Además, el uso de cadena suele ser ruidoso en el funcionamiento y, por ende, podría generar molestias al operario.

2.6 Ecuaciones principales y cálculo de las especificaciones generales de diseño

2.6.1 Velocidad promedio de salida del alambre

Según los parámetros teóricos de diseño, la maquina debe ser capaz de elaborar 1 metro de alambre en 3 segundos.

$$\frac{1 \text{ metro}}{3 \text{ segundos}} = 0.3 \frac{m}{s}$$

2.6.2 Fuerza total ejercida sobre la platina de arrastre

Para estimar la fuerza total ejercida por la platina, se llevó a cabo un cálculo basado en un análisis de esfuerzo de fluencia mediante la ecuación 2.1. De acuerdo con los planos originales de diseño, el diámetro máximo permitido del alambre es de 3.5 mm, como se indica en la ilustración 15. Por ello al calcular el área del casquillo mediante la ecuación 2.2, se obtuvo un valor de 9.62 mm². Por ende, la resistencia máxima del mismo será de 485 MPa, según indica la ilustración 16, al considerar un alambre suave. Esta elección es la adecuada para la fabricación de mallas eslabonadas.

Ilustración 15.

Plano original del casquillo de la maquina especializada [13]

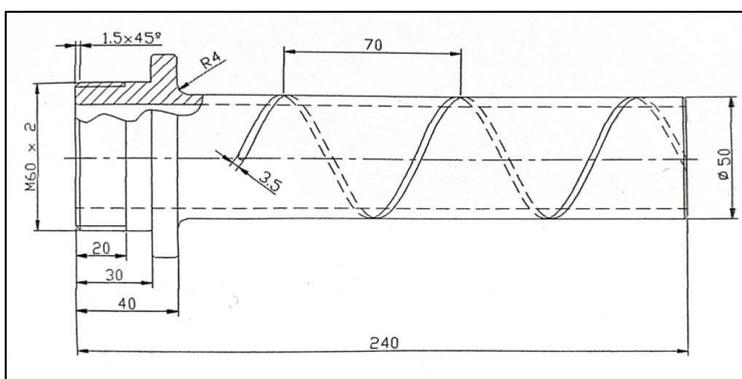


Ilustración 16.

Resistencia máxima a la tracción del alambre [11]

Diámetro de alambre		Suave (MPa)	Normal (MPa)	Duro (MPa)
Desde (mm)	Hasta (mm)			
0.20	< 2.00	450	690	825
2.00	< 2.50	515	655	795
2.50	< 4.70	485	620	760
4.70	O mayor	485	585	725

$$F = \sigma * A \quad (2.1)$$

Donde:

F : Fuerza ejercida mediante el análisis del esfuerzo de fluencia

σ : Resistencia máxima a la tracción del alambre

A : Área máxima del alambre permitido

$$A = \frac{\pi}{4} * (d)^2 \quad (2.2)$$

Donde:

A : Área máxima del alambre permitido

d : Diámetro máximo del alambre permitido (Limitado por el diseño original del casquillo)

Resolución:

$$A = \frac{\pi}{4} * (3.5 \text{ mm})^2 = 9.62 \text{ mm}^2$$

$$F = 485 \frac{N}{\text{mm}^2} * 9.62 \text{ mm}^2 = 4665.7 \text{ N}$$

Donde:

F_T : Fuerza total ejercida sobre la platina

$$F_T = F = 4665.7 \text{ N}$$

2.6.3 Potencia requerida del motor

Con el fin de dimensionar la potencia requerida del motor, se utilizó la ecuación 2.3. En esta ecuación, la fuerza total ejercida por la platina, previamente calculada, se multiplica por una velocidad promedio de salida de 0.30 m/s. Esta velocidad es considerada baja y no requiere un análisis de fatiga en nuestro mecanismo, siendo apropiada para la producción del tejido de alambre galvanizado.

$$Potencia = F_T * V \quad (2.3)$$

Donde:

F_T : Fuerza total ejercida sobre la platina

V : Velocidad promedio de salida del alambre

Resolución:

$$Potencia = 4665.7 \text{ N} * 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Potencia = 1399.71 \text{ W}$$

$$Potencia = 1399.71 \text{ W} * \frac{0.00134 \text{ HP}}{1 \text{ W}}$$

$$Potencia = 1.88 \text{ HP} \approx 2 \text{ HP}$$

El motor proporcionado por el cliente CDTS de 2 HP marca Lincoln A.C. Motor adecuado según los requerimientos de diseño.

2.6.4 Velocidad de la polea conducida

A través de asunciones teóricas para el diseño del sistema de transmisión, fue necesario calcular la velocidad de la polea conducida en Rpm. Esto se realizó utilizando el número de vueltas, que se fundamenta en la suposición de un metro de alambre producido sobre el perímetro del casquillo, cuyo diámetro es de 50 mm según el plano original del casquillo (ver ilustración 15).

Después de obtener el número de vueltas, que es de 6.37 vueltas por metro de alambre producido en la salida, se procedió dividiendo este valor por el tiempo estimado de 3 segundos. Como resultado, se determinó que la velocidad de la polea conducida es aproximadamente 130 Rpm.

$$n = \frac{1 \text{ metro de alambre}}{\text{Perímetro del casquillo}} = \frac{1000 \text{ mm}}{\pi * D} = \frac{1000 \text{ mm}}{\pi * (50 \text{ mm})} = 6.37 \text{ vueltas por metro}$$

$$N_2 = \frac{\text{Revoluciones}}{\text{Minutos}} = \frac{\text{numero de vueltas}}{\text{tiempo}} = \frac{6.37 \text{ vueltas}}{3 \text{ segundos}} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ Minuto}}$$

$$N_2 = 127.4 \text{ Rpm} \approx 130 \text{ Rpm}$$

$$N_2 = 130 \text{ Rpm}$$

Donde:

n : Numero de vueltas

D : Diámetro máximo del casquillo (Limitado por el diseño original del equipo)

N : Velocidad angular en Rpm

2.6.5 Aplicación del variador de frecuencia

La función del variador de frecuencia es regular la velocidad del motor eléctrico, garantizando que la energía suministrada al motor se adapte a la demanda específica de la aplicación. Esto puede resultar en una reducción del consumo energético del motor, que varía en un rango del 20% al 70% [14].

El variador inicialmente redujo la capacidad de funcionamiento del motor de 2 HP marca Lincoln A.C. Motor a un 35% de su capacidad nominal, si el motor hubiera llegado a operar por debajo del 20%, podría haber ocasionado problemas como el calentamiento excesivo, la disminución de la eficiencia y posibles daños en el motor.

$$N_{Motor} = 1725 \text{ Rpm} \approx 100\%$$

$$N_{Variador} = N_1 = 600 \text{ Rpm} \approx 35\%$$

$$N_{Variador} \approx 35\% > 20\%$$

∴ Porcentaje recomendado para el óptimo rendimiento del motor

Donde:

N_{Motor} : Velocidad angular en Rpm del motor

$N_{Variador}$: Velocidad angular en Rpm del motor reducida por el variador de frecuencia

2.6.6 Diámetros de las poleas

Las poleas son elementos que permiten la transferencia de movimiento de un sistema eléctrico a un sistema mecánico mediante la fricción entre las poleas y la banda. Estas se conocen como polea motriz y polea conducida. Por lo tanto, al asumir que el diámetro de la polea 1 es de 70 mm, se calculó el diámetro de la polea 2, a través de la ecuación 2.4.

$$N_1 = 600 \text{ Rpm}$$

$$N_2 = 130 \text{ Rpm}$$

$$D_1 = 70 \text{ mm} = 7 \text{ cm}$$

$$D_1 * N_1 = D_2 * N_2 \tag{2.4}$$

Donde:

N_1 : Velocidad angular en Rpm de la polea 1 (Motriz)

N_2 : Velocidad angular en Rpm de la polea 2 (Conducida)

D_1 : Diámetro de la polea 1 (Asunción de diseño)

D_2 : Diámetro de la polea 2 (Calculada en base a la asunción de diseño)

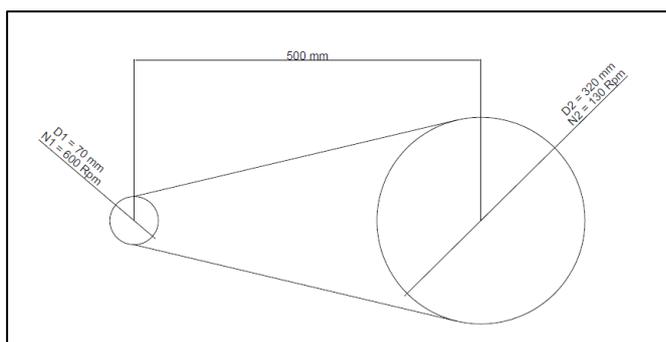
Resolución:

$$70 \text{ mm} * (600 \text{ Rpm}) = D_2 * (130 \text{ Rpm})$$

$$D_2 = 320 \text{ mm} \approx 32 \text{ cm}$$

Ilustración 17.

Plano del sistema de transmisión de potencia en base a las asunciones de diseño



2.6.7 Ángulos de contacto de la banda

Según Shigley (2008), “las bandas ofrecen notables ventajas en comparación con las transmisiones de engranes. Estas ventajas se manifiestan en una eficiencia que alcanza aproximadamente el 98% para las bandas planas, a diferencia de la eficiencia de las transmisiones de bandas en V, que varía entre el 70% y el 96%. Además, las bandas reducen el ruido y absorben vibraciones de manera más efectiva que las transmisiones por engranes” [15].

Para abordar este aspecto, se realizó el cálculo de los ángulos de contacto (θ) mediante las ecuaciones 2.5 y 2.6. El rango típico para el ángulo de contacto, tanto en la polea menor como en la mayor, puede variar, pero suele encontrarse entre 150 y 210 grados. No obstante, es crucial que la banda mantenga un contacto adecuado con las poleas para garantizar una transmisión de potencia eficiente y sin deslizamiento.

Angulo de contacto de la polea menor:

$$\theta_d = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{2c}\right) \quad (2.5)$$

Donde:

θ_d : Angulo de contacto del diámetro de la polea menor

D_2 : Diámetro de la polea mayor

D_1 : Diámetro de la polea menor

c : Distancia entre centros

Resolución:

$$\theta_d = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{320 \text{ mm} - 70 \text{ mm}}{2(500 \text{ mm})}\right)$$

$$\theta_d = 151.04^\circ$$

$150^\circ < \theta_d < 210^\circ \therefore$ Si cumple con el rango tipico de contacto

Angulo de contacto de la polea mayor:

$$\theta_D = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{2c}\right) \quad (2.6)$$

Donde:

θ_D : Angulo de contacto del diámetro de la polea mayor

D_2 : Diámetro de la polea mayor

D_1 : Diámetro de la polea menor

c : Distancia entre centros

Resolución:

$$\theta_D = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{320 \text{ mm} - 70 \text{ mm}}{2(500 \text{ mm})}\right)$$

$$\theta_D = 208.95^\circ$$

$150^\circ < \theta_D < 210^\circ \therefore$ Si cumple con el rango tipico de contacto

2.6.8 Longitud de banda

Con las medidas de las poleas ya obtenidas previamente y asumiendo una distancia entre centros de ambas poleas de 500 mm, se calculó una longitud aproximada de la banda requerida aplicando la ecuación 2.7.

$$L = 2 * c + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 * c} \quad (2.7)$$

Donde:

D_2 : Diámetro de la polea mayor

D_1 : Diámetro de la polea menor

c : Distancia entre centros

Resolución:

$$L = 2 * (500 \text{ mm}) + 1.57(320 \text{ mm} + 70 \text{ mm}) + \frac{(320 \text{ mm} - 70 \text{ mm})^2}{4 * (500 \text{ mm})}$$

$$L = 1643.55 \text{ mm} = 1.64355 \text{ m} \approx 1.70 \text{ m}$$

2.7 Diseño de forma de la maquina

El rediseño de la máquina se realizó conforme a las matrices de decisión detalladas en la sección 2.1.5 de este proyecto. La incorporación de un variador de frecuencia con especificaciones compatibles al motor suministrado por el cliente permitió la reducción de velocidad en el sistema. Además, la transmisión de potencia se llevó a cabo a través de un conjunto de poleas y una banda plana, de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos, tal como se indica en la ilustración 18 y 19.

Ilustración 18.

Diseño de forma de la maquina especificando las mejoras

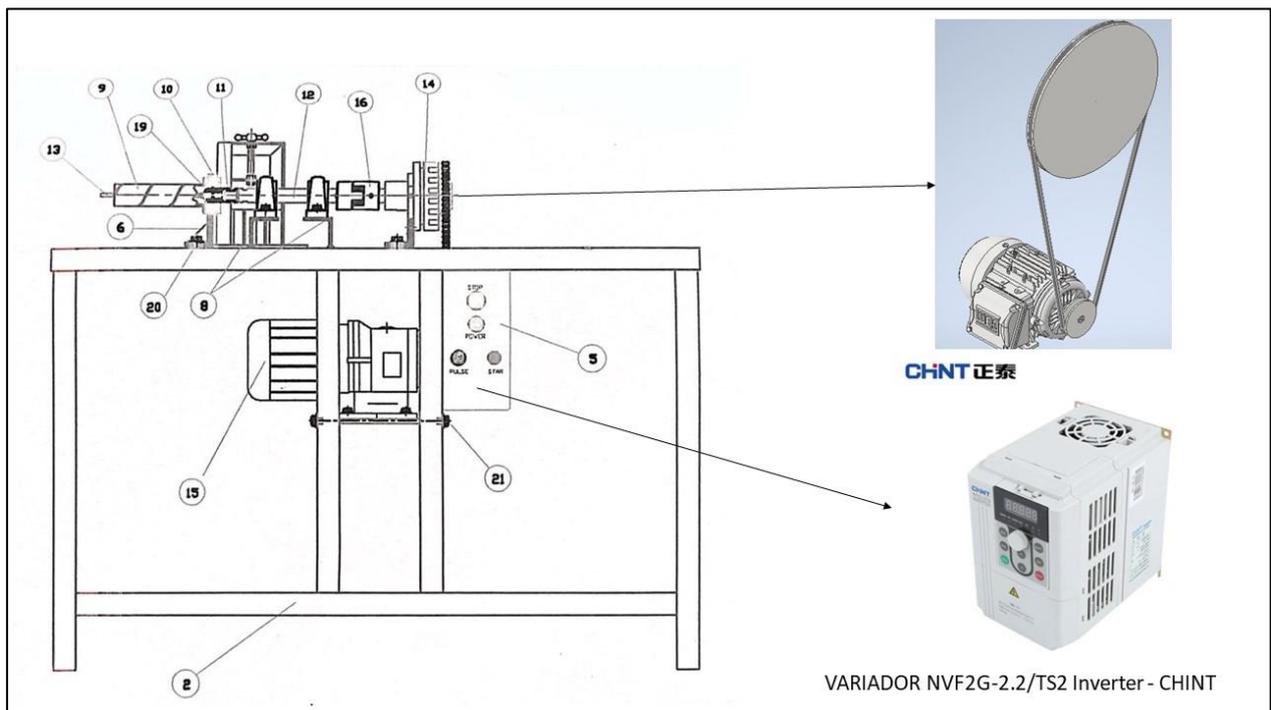
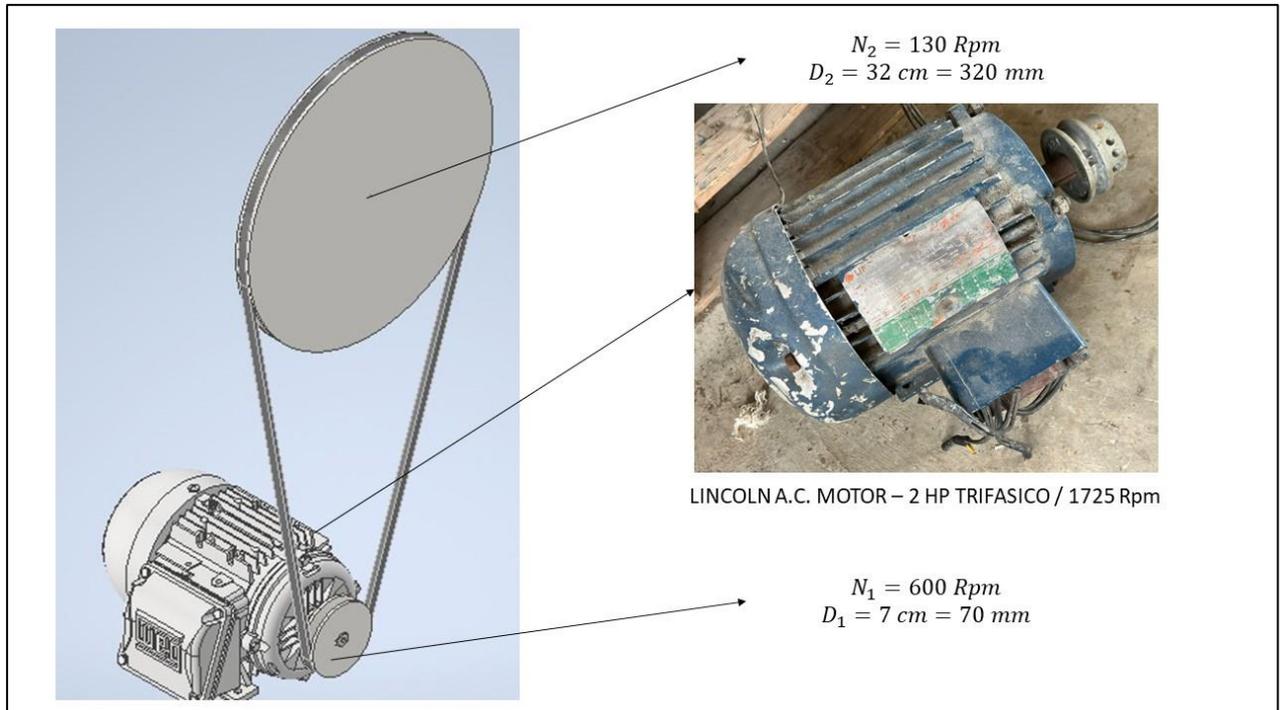


Ilustración 19.

Diseño de forma del sistema de transmisión de la maquina



Capítulo 3

3.1 Introducción

En este capítulo, se examinaron los costos asociados con la construcción y montaje de los dispositivos eléctricos y mecánicos utilizados en el sistema de reducción de velocidad y en el sistema de transmisión de potencia para la rehabilitación de la máquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas.

De igual manera, se detallaron cada una de las etapas de rehabilitación de la máquina y posteriormente se obtuvieron los resultados experimentales a través de las pruebas de funcionamiento. Estos resultados se analizaron y compararon con las asunciones teóricas expuestas en el capítulo anterior.

3.2 Análisis de costos

En esta sección se incluyen todos los costos relacionados con la rehabilitación mecánica de la máquina, tanto los costos directos como los indirectos.

3.2.1 Costos directos

El sistema de reducción de velocidad y el sistema de transmisión de potencia de la máquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas implican costos que se han detallado posteriormente:

- Componentes: Eléctricos y mecánicos
- Materiales / Consumibles
- Mecanizado de elementos principales del sistema de transmisión de potencia
- Mano de obra

Costos de componentes: Eléctricos y mecánicos

A continuación, en la Tabla 15 se detallan los costos de los componentes eléctricos y mecánicos utilizados en la rehabilitación de la máquina, de acuerdo con las soluciones detalladas en la matriz de decisión del capítulo anterior.

Tabla 15.

Costos de los componentes

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción	Especificación	Costo	Costo
					Unitario	Total
					(USD)	(USD)
1	1	U	Variador de frecuencia - CHINT	3F 3HP 2.2 KW 220V	\$301.50	\$301.50
2	1	U	Breaker riel - HYUNDAI	3P 16A	\$17.65	\$17.65
3	1	U	Pulsador hongo rojo emergencia - CNC	C/Ret 22 mm hongo de 40 mm	\$4.90	\$4.90
4	1	U	Riel metal	35 mm x 1 Metro	\$4.06	\$4.06
5	1	U	Selector - CHINT	22 MM O-I	\$3.33	\$3.33
6	1	U	Cerradura plástica con llave	Color gris	\$3.00	\$3.00
7	1	U	Luz piloto led verde - CNC	22 mm 220V	\$2.00	\$2.00

8	1	U	Luz piloto led amarilla - CNC	22 mm 220V	\$2.00	\$2.00
9	4	Metros	Cable Concéntrico	3 líneas / # 14	\$1.24	\$4.96
10	1	U	Enchufe – RockWell Electric CO.	250V 15A 3P	\$3.79	\$3.79
11	1	U	Banda en V – Gates	15 mm x 1420 mm	\$19.00	\$19.00
TOTAL (Sin IVA)						\$366.19

Costos de materiales / Consumibles

La Tabla 16 presenta los costos asociados a los materiales/consumibles utilizados durante el proceso de rehabilitación de la máquina especializada.

Tabla 16.

Costos de materiales / Consumibles

Ítem	Cantidad	Unidad	Descripción	Especificación	Costo	Costo
					Unitario	Total
					(USD)	(USD)
1	4	U	Discos de zirconio	115 mm Grano 40	\$1.80	\$7.20
2	3	L	Diluyente	-----	\$2.15	\$6.45
3	2	U	Pintura en aerosol	Color Azul	\$2.30	\$4.60
4	2	U	Pintura en aerosol	Color Amarillo	\$2.30	\$4.60
5	5	U	Lijas	Grano 120	\$0.50	\$2.50
TOTAL (Sin IVA)						\$25.35

Costos de mecanizado de elementos principales del sistema de transmisión de potencia

La tabla 17 contempla los costos y tiempos relacionados al mecanizado de los elementos principales del sistema de transmisión de potencia.

Tabla 17.

Costos de mecanizado de elementos del sistema de transmisión de potencia

Ítem	Maquinaria	Descripción	Tiempo	Costo por Hora	Costo Total
			(Horas)	(USD)	(USD)
1	Torno	Mecanizado de la polea de 10 pulgadas	2 Horas	\$8.00	\$16.00
1	Torno	Mecanizado del eje de una pulgada	2 Horas	\$8.00	\$16.00
TOTAL (No Aplica IVA)					\$32.00

Costos por mano de obra

La tabla 18 detalla los costos de mano de obra correspondientes a los diversos trabajos realizados durante la rehabilitación mecánica de la máquina. Estos trabajos incluyeron el pulido, la pintura y el ensamblaje de los componentes eléctricos y mecánicos de la máquina, así como la construcción de un nuevo tablero eléctrico para operar el variador de frecuencia junto con el motor eléctrico. Además, se llevaron a cabo la elaboración de los planos para el rediseño del equipo.

Tabla 18.

Costos por mano de obra

Ítem	Cantidad	Descripción	Especificación	Costo por Hora (USD)	Hora de Trabajo	Costo Total (USD)
1	1	Trabajador	Pulir y pintar componentes eléctricos y mecánicos	\$2.00	16	\$32.00
2	1	Trabajador	Ensamble de componentes	\$2.00	8	\$16.00
3	1	Trabajador	Fabricación de tapa para cubrir cableado del motor	\$2.00	4	\$8.00
4	1	Trabajador	Construcción del tablero eléctrico	\$2.00	7	\$14.00
5	1	Trabajador	Construcción de las bases para las chumaceras	\$2.00	5	\$10.00
6	1	Rediseño	Planos del rediseño del equipo	\$5.00	20	\$100.00
TOTAL (No Aplica IVA)						\$190.00

3.2.2 Costos indirectos

Estos costos se presentan como valores adicionales generados en el proyecto de manera que no afecten la rehabilitación de la máquina especializada.

Tabla 19.

Costos indirectos del proyecto

Ítem	Descripción	Costo (USD)
1	Alimentación	\$40.00
2	Transporte	\$30.00
3	Impresiones	\$15.00
TOTAL (No Aplica IVA)		\$85.00

3.2.3 Costo total del proyecto

Este costo refleja la suma de los costos directos e indirectos para la rehabilitación mecánica de la máquina especializada.

Tabla 20.

Costos totales del proyecto

Ítem	Especificación	Costo Total (USD)
1	Costos de componentes: Eléctricos y mecánicos	\$366.19 + \$43.94 (IVA 12%)
2	Costos de materiales / consumibles	\$25.35 + \$3.04 (IVA 12%)
3	Costos de mecanizado	\$32.00
4	Mano de obra	\$190.00
5	Ganancia ingenieril	\$200.00
6	Costos indirectos	\$85.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		\$909.52

3.3 Etapas de rehabilitación

Este proyecto de rehabilitación mecánica se dividió en 4 etapas. En la primera etapa, se llevaron a cabo los planos de las mejoras del equipo, junto con su correspondiente modelado 3D en el software Inventor. La segunda consistió en la preparación de los componentes eléctricos y mecánicos de la máquina. La tercera etapa se realiza el ensamblaje del sistema de reducción de velocidad. La última etapa abordó la colocación del sistema de transmisión de potencia compuesto por dos poleas y una banda.

Tras finalizar las cuatro etapas de rehabilitación, se llevaron a cabo pruebas de funcionamiento, considerando la posibilidad de operar la máquina sin la presencia del embrague. El objetivo es mejorar la experiencia del usuario, en este caso, el cliente.

3.3.1 Etapa#1: Rediseño del equipo: planos y modelado

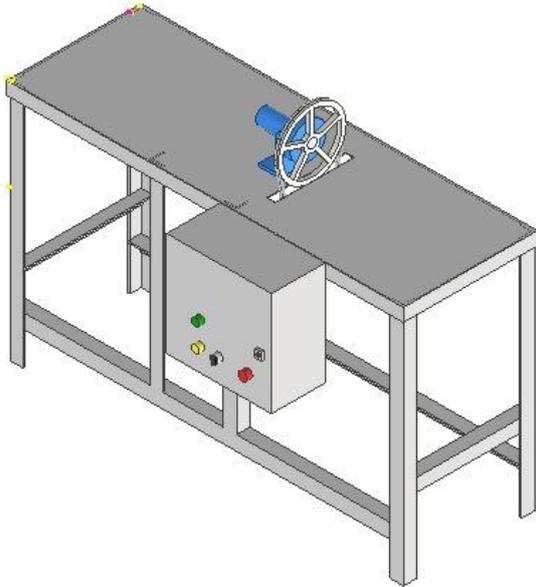
Antes de iniciar la rehabilitación, se crearon los planos del rediseño utilizando el software Autodesk Inventor. Estos planos incorporaron las soluciones propuestas para el sistema de reducción de velocidad y el sistema de transmisión de potencia, todo ello en concordancia con los requisitos establecidos por el cliente.

El modelado y los planos elaborados reflejan claramente las modificaciones realizadas en la máquina en comparación con el diseño original. Aquellos componentes que no experimentaron cambios no fueron reproducidos, ya que están detallados en los planos originales.

La Ilustración 20 muestra la ubicación real del nuevo tablero, proporcionado por el cliente. En este tablero se alojará el sistema de reducción de velocidad, que está compuesto por el variador de frecuencia CHINT de 3 HP, operando en conjunto con el motor Lincoln A.C. de 2 HP, también proporcionado por el cliente. Además, se incluirán los demás componentes eléctricos que forman parte del circuito.

Ilustración 20.

Modelado 3D del rediseño de la maquina

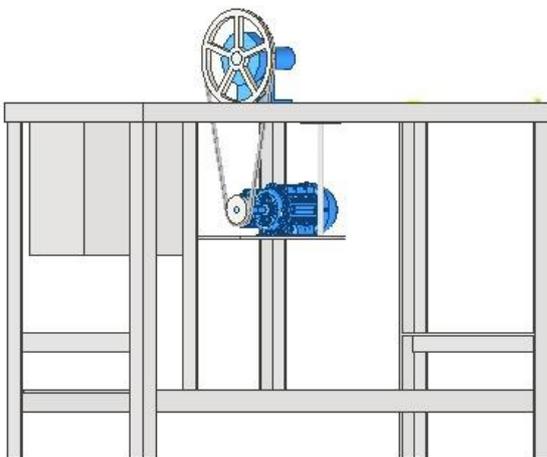


En la ilustración 21 se puede apreciar el sistema de transmisión de potencia, compuesto por una polea motriz de 3 pulgadas, una polea conducida de 10 pulgadas y una banda.

Inicialmente, la banda iba a ser plana, pero durante la rehabilitación se optó por utilizar una en forma de V.

Ilustración 21.

Modelado 3D del sistema de transmisión de potencia



En la sección de anexos, se han incluido los planos correspondientes al sistema de transmisión de potencia, así como los del sistema de reducción de velocidad y el listado de partes.

3.3.2 Etapa#2: Preparación de los componentes eléctricos y mecánicos de la máquina

La máquina, al haber estado fuera de uso durante tantos años, presentaba una estructura llena de óxido y un estado de pintura muy deteriorado, tal como se observó en la ilustración 13. Además, los componentes mecánicos ubicados en la parte superior de la mesa presentaban un exceso de suciedad y presencia de grasa que había superado su tiempo de vida útil.

Se tuvo que limpiar cada parte con desengrasante y antioxidantes. Posteriormente, se aplicó un proceso de lijado utilizando una lija de grano 120 en cada una de las partes originales mecánicas de la máquina antes de la aplicación de pintura. Únicamente la mesa fue pulida con discos de circonio de grano 40. En la ilustración 22 se presenta el resultado del pintado de las piezas.

Ilustración 22.

Piezas mecánicas pintadas y ensambladas



El cliente CDTS proporcionó una caja para tablero eléctrico de 40 cm x 40 cm x 20.5 cm, que era reciclada. Sin embargo, presentaba un ligero óxido superficial en la estructura, por lo que también fue necesario lijarla antes de aplicar la pintura (Ilustración 23).

Ilustración 23.

Preparación de la caja para tablero eléctrico previo al pintado



El motor eléctrico de la marca Lincoln A.C. Motor también necesitó ser pintado (Ilustración 24); sin embargo, antes de ello, fue necesario limpiarlo debido a la acumulación de suciedad en su exterior, resultado de muchos años de antigüedad. Además, se fabricó una platina de acero para cubrir los cables expuestos (Ilustración 25), ya que la guarda original se extravió.

Ilustración 24.

Motor Lincoln A.C. Motor de 2 HP pintado

**Ilustración 25.**

Tapa fabricada para cubrir los cables ya ensamblada en el motor



3.3.3 Etapa#3: Ensamblaje del sistema de reducción de velocidad

Concluida la etapa #2, se procedió a armar el tablero eléctrico (Ilustración 26). Mediante rieles, se instaló el breaker 3P 16 A, el cual se energizó con corriente eléctrica. Luego, se conectó al variador de frecuencia CHINT, cuya salida se dirige hacia el contactor de 12 A. Este, a través de un sistema de control, será responsable de arrancar y detener el motor.

Ilustración 26.

Instalación del circuito eléctrico del variador



Una vez montado el circuito, se incorporó un selector de dos posiciones para la operación (Ilustración 27). Este selector se energiza mediante el contactor de 12 A y se conecta a la entrada de la luz piloto verde, así como a la parada de emergencia para mayor seguridad. En la salida, se conecta a la luz piloto amarilla y, a su vez, a la parada de emergencia, creando un retorno hacia el contactor de 12 A (Ilustración 28).

Ilustración 27.

Botones de mando para la operación de la máquina

**Ilustración 28.**

Circuito de mando para la operación de la máquina



Para concluir esta etapa, se ensambló cada componente que forma parte de la máquina (Ilustración 29). En primer lugar, se colocó y se fijó con pernos el motor. Posteriormente, se instaló el nuevo tablero, el cual ya contenía todos sus componentes y las conexiones correspondientes. Además, se llevó a cabo la instalación de los componentes mecánicos originales de la máquina, tal como se presentó en la ilustración 22.

Ilustración 29.

Maquina ensamblada en la etapa#3

**3.3.4 Etapa#4: Colocación del sistema de transmisión de potencia**

En esta última etapa, dedicada exclusivamente al sistema de transmisión de potencia, se mecanizó mediante un torno la polea de 10 pulgadas proporcionada por el cliente CDTS (Ilustración 30), este proceso tomó una duración de 2 horas. Para el mecanizado, se utilizaron las medidas del eje del embrague para garantizar su correcta compatibilidad (Ilustración 31).

Ilustración 30.

Mecanizado de la polea de 10 pulgadas



Ilustración 31.

Compatibilidad entre la polea de 10 pulgadas y el embrague magnético



Ambos componentes fueron sujetos a través de tres pernos (Ilustración 32). Para lograrlo, se perforaron los tres agujeros requeridos en la polea de 10 pulgadas utilizando un taladro. Además, para transferir el movimiento de la polea al eje, fue necesario ajustar al rodamiento ubicado debajo de la polea un total de 12 chavetas, las cuales son parte integral del eje. Una vez ensamblados, el embrague y la polea se colocaron en la mesa de mallado; no obstante, fue necesario agrandar el hueco original de la mesa, ya que inicialmente estaba diseñado para una catalina, también conocida como piñón, de menor dimensión.

Ilustración 32.

Polea empernada al embrague magnético



Una vez instaladas las poleas de 10 pulgadas y la polea de 3 pulgadas (esta última integrada con el motor proporcionado por el cliente), se colocó la banda que inicialmente se tenía planificado que fuera plana. Sin embargo, se optó por utilizar una banda en V, ya que suele ser más eficiente en la transmisión de potencia y presenta menos tendencia al deslizamiento debido a su forma en V (Ilustración 33).

Ilustración 33.

Banda en V colocada en la polea de 10 pulgadas



Después de haber ensamblado todos sus componentes eléctricos y mecánicos (Ilustración 34), se llevaron a cabo las pruebas de funcionamiento.

Ilustración 34.

Maquina ensamblada y lista para las pruebas de funcionamiento



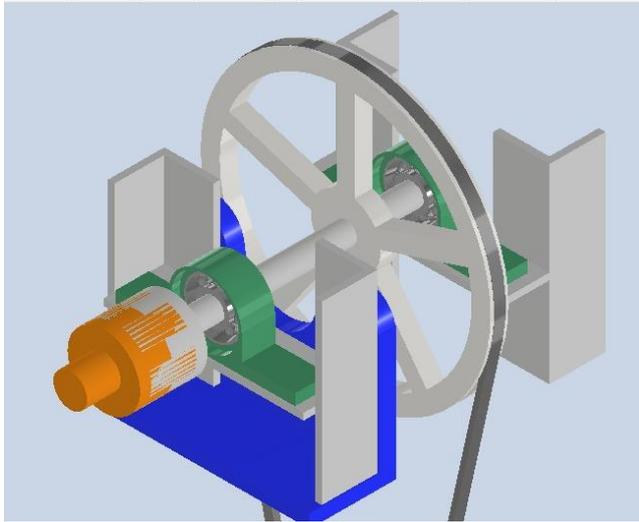
3.3.5 Mejora final de la maquina especializada

Con la rehabilitación completada y a pesar de no haber habilitado el embrague magnético debido a restricciones de tiempo, el rendimiento de la máquina no se vio afectado. Utilizando el software Invertor, se evaluó la viabilidad de prescindir del embrague en la operación de la máquina (ver Ilustraciones 35 y 36). Como resultado de este análisis, se decidió instalar un nuevo eje con un diámetro de una pulgada. Este nuevo eje pasa a través de dos chumaceras, la polea y el acople, comúnmente conocido como 'matrimonio', que originalmente estaba integrado al embrague (Ilustración 37). Todos los componentes utilizados en esta mejora fueron proporcionados por el cliente CDTS.

En la sección de anexos, se incluye el plano con el listado de partes utilizadas en este rediseño de la máquina.

Ilustración 35.

Modelado 3D de la mejora implementada a la extracción del embrague

**Ilustración 36.**

Modelado 3D del nuevo eje y sus componentes ensamblados

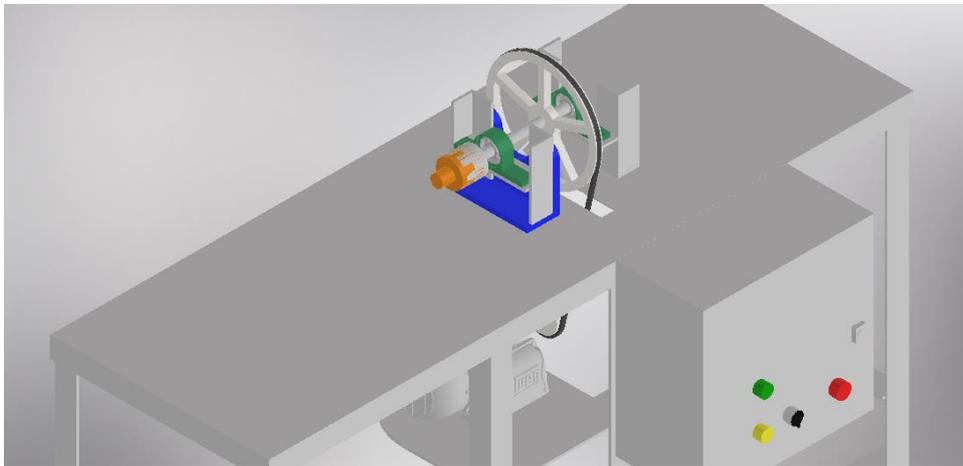


Ilustración 37.

Mejora implementada para la operación del equipo sin la presencia del embrague magnético



Adicionalmente, se fabricaron dos bases para las chumaceras utilizando ángulos. Estos fueron cortados y soldados para lograr la altura deseada, asegurando así que las chumaceras permitan que el eje se mantenga nivelado, tal como se observa en la ilustración 38.

Ilustración 38.

Base fabricada para que la chumacera mantenga nivelado el eje



Después de finalizar la mejora, se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema de transmisión, siguiendo los mismos parámetros que cuando la máquina operaba con la presencia del embrague. A pesar de probar las mismas frecuencias, el funcionamiento no se vio comprometido. En la ilustración 39 se observa el equipo finalizado sin la presencia del embrague magnético. En el Anexo A se ha incluido el procedimiento de arranque de la máquina, mientras que en el Anexo B se ha detallado el procedimiento de parada de la máquina. Estas secciones sirven como guía instructiva para el operador durante el funcionamiento del equipo.

Ilustración 39.

Maquina especializada rehabilitada



3.4 Resultados del proyecto

3.4.1 Sistema de reducción de velocidad

Inicialmente, de acuerdo con las asunciones teóricas presentadas en el capítulo 2, la reducción de la velocidad angular del motor eléctrico mediante la aplicación del variador de frecuencia estaba prevista ser de 600 RPM, con el propósito de prevenir el calentamiento del motor.

A través de pruebas experimentales en vacío, es decir, solo operando el motor y el variador en conjunto sin la intervención de las poleas, se logró reducir la velocidad angular a 478.7 RPM a una frecuencia de 16 Hz y un amperaje de 3.6 A, inferior al nominal del motor, que es de 6.2 A operando a 230 V. No obstante, se estableció un rango de frecuencia para las pruebas que abarcó desde los 13 Hz hasta los 19 Hz (Tabla 21) con el objetivo de identificar cualquier aumento en la temperatura de operación del motor.

Tabla 21.

Datos por las pruebas de funcionamiento del sistema en vacío

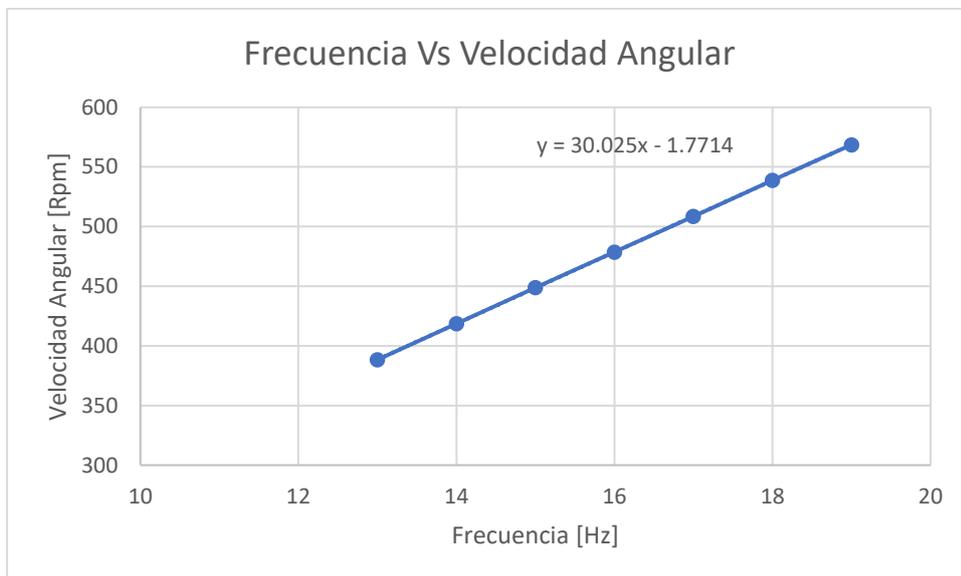
Frecuencia [Hz]	Velocidad angular [Rpm]	Amperaje [A]
13	388.4	3.5
14	418.6	3.5
15	448.8	3.6
16	478.7	3.6
17	508.5	3.6
18	538.8	3.6
19	568.6	3.6

Al probar con cada frecuencia dentro del rango mencionado anteriormente, se observó que la temperatura del motor aumentaba a 14 Hz y a frecuencias inferiores. Por esta razón, se optó por seleccionar las 478.7 RPM a una frecuencia de 16 Hz, lo que equivale al 27.75% de la capacidad nominal del motor, superando el mínimo recomendado que es el 20%. Esta elección se hizo con el objetivo de preservar la integridad del motor al evitar un calentamiento excesivo.

En la ilustración 40, se graficó la frecuencia frente a la velocidad angular del motor utilizando los datos ya presentados en la tabla 21, mostrando una tendencia lineal. Es decir, a mayores hercios (Hz), se obtuvieron mayores revoluciones por minuto (RPM). La ecuación lineal que describe esta relación es $y = 30.025x - 1.7714$, donde "y" representa la velocidad angular y "x" la frecuencia.

Ilustración 40.

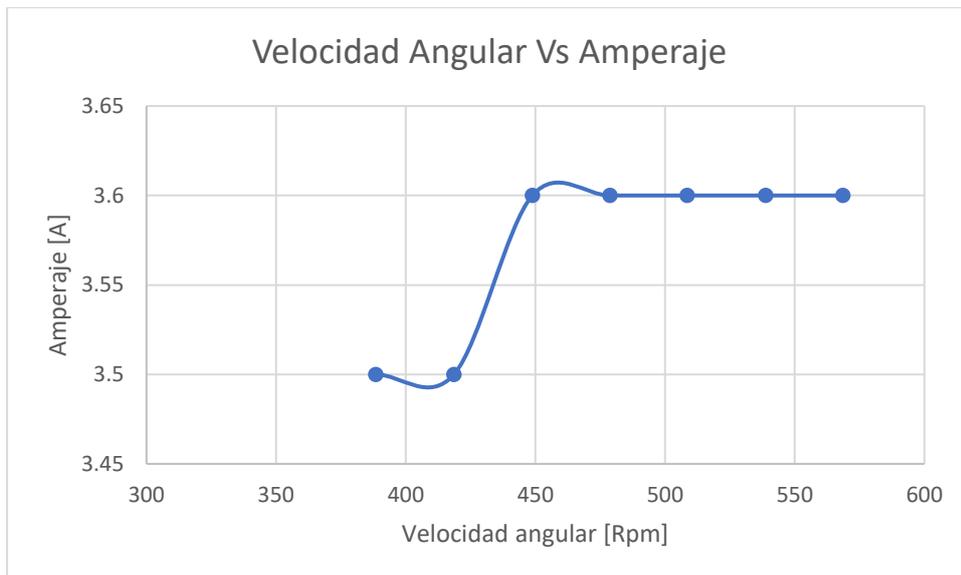
Grafica Frecuencia Vs Velocidad Angular obtenida en las pruebas de vacío



En los datos obtenidos (Tabla 21), se observó que en ningún momento varió notablemente el amperaje debido a que el voltaje se mantuvo constante en todo momento. Esta situación es normal, considerando que los resultados mencionados anteriormente se refieren únicamente a la interacción entre el variador y el motor. En otros términos, la variación de velocidad angular en RPM no afectó la corriente, como se observa en la ilustración 41, debido a que en esta prueba donde no intervino la banda, la potencia mecánica se mantuvo constante al no haber trabajo ni pérdidas por fricción. Al no variar la potencia mecánica, la potencia eléctrica se mantuvo constante, lo que significa que el voltaje se mantuvo constante.

Ilustración 41.

Grafica Velocidad Angular Vs Amperaje obtenida en pruebas de vacío



3.4.2 Sistema de transmisión de potencia

Al seleccionar las 478.7 RPM, fue necesario volver a realizar el cálculo para determinar las dimensiones de las poleas utilizando la ecuación 2.4, la cual se encuentra en el capítulo 2. Sin embargo, el cliente CDTS ofreció la opción de utilizar dos poleas que tenían disponibles en su inventario: una de 3 pulgadas y otra de 10 pulgadas. Al volver a realizar el cálculo, se buscó determinar cómo varían las RPM en comparación con las 130 RPM ya calculadas previamente, utilizando las asunciones de diseño. Entonces al considerar las poleas: $D_1 = 3$ Pulgadas y $D_2 = 10$ Pulgadas y las RPM seleccionadas a través de las pruebas de funcionamiento del sistema de reducción de velocidad a una frecuencia de 16 Hz: $N_1 = 478.7$ RPM, se obtuvo que $N_2 = 143.61$ RPM, por lo tanto, existió una variación de 13.61 RPM.

Al aplicar ingeniería inversa a partir de las 143.61 RPM se obtuvo una velocidad de salida del alambre de 0.37 m/s en el tiempo de 2.7 segundos por metro, presentando una variación de 0.07 m/s en comparación a los 0.30 m/s mencionados en el capítulo 2 como asunción de diseño. Como se observa la variación no fue significativa.

Al disponer de los diámetros reales de las poleas, fue necesario recalcular la longitud de la banda y los ángulos de contacto. Utilizando la ecuación 2.7 del capítulo 2, con una distancia real entre centros de 40.5 cm en comparación con los 50 cm seleccionados inicialmente como parámetro para el diseño, se obtuvo una longitud de 134.79 cm. Al redondear y convertirlo a metros, se requiere una banda de 1.35 metros para el sistema de transmisión de potencia.

En el recálculo de los ángulos de contacto, se emplearon los mismos datos previamente mencionados, como los diámetros reales de las poleas y la distancia real entre centros. A través de la ecuación 2.5, se determinó que el ángulo de contacto real para la polea menor es de 155° , el cual se encuentra dentro del rango típico de contacto, que va desde los 150° hasta los 210° . De

manera similar, al calcular el ángulo de contacto real para la polea mayor mediante la ecuación 2.6, se obtuvo un ángulo de 205° , el cual se encuentra dentro del rango típico de contacto.

3.4.3 Operación conjunta de ambos sistemas

Una vez que la máquina estuvo completamente ensamblada, se decidió emplear una banda en V con una longitud de 142 cm, lo que representa un incremento de 7 cm en comparación con los 135 cm obtenidos en los resultados del sistema de transmisión de potencia. Este aumento se debió al incremento de la distancia entre centros a 42 cm, lo que permitió que la banda quedara tensada sin ejercer demasiada presión sobre la polea, evitando interrupciones en el movimiento del eje. Además, al haber una variación en la distancia real entre centros a 42 cm, esto implica un recálculo de los ángulos reales de contacto mediante la ecuación 2.5 para la polea menor, donde se obtuvo un valor de 155° , y la ecuación 2.6 para la polea mayor, con un resultado de 204° . Como se observa, la variación fue mínima en comparación a los ángulos de contacto a una distancia entre centros de 40.5 cm calculada anteriormente.

Durante las pruebas de operación conjunta de ambos sistemas, es decir, el sistema de reducción de velocidad y el sistema de transmisión de potencia a la frecuencia definida de 16 Hz, se registraron 147.9 RPM en la polea conducida, la cual corresponde a la polea de 10 pulgadas. Esto supuso un aumento de 4.29 RPM en comparación con los 143.61 RPM obtenidos mediante la ecuación 2.4 en los resultados del sistema de transmisión de potencia, lo que se tradujo en un incremento de la velocidad de salida del alambre a 0.38 m/s en un lapso de 2.58 segundos por metro.

Las pruebas se realizaron dentro del mismo rango de frecuencias establecido en las pruebas en vacío. En esta ocasión, se tuvo en cuenta la variable del voltaje, ya que se observó que el amperaje se mantenía constante. Esto implicó que, en lugar de trabajar con la corriente, el variador operaba ajustando el voltaje, tal como se observa en la tabla 22.

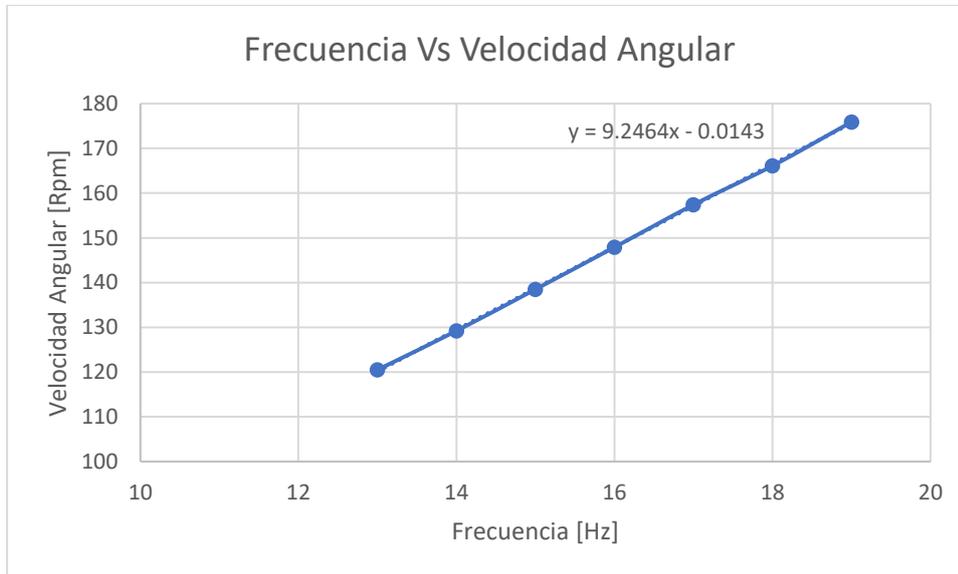
Tabla 22.*Datos por las pruebas de operación conjunta entre ambos sistemas*

Frecuencia [Hz]	Velocidad angular [Rpm]	Amperaje [A]	Voltaje [V]
13	120.5	3.4	51
14	129.2	3.5	54.9
15	138.5	3.5	59.4
16	147.9	3.5	63.3
17	157.4	3.5	67.3
18	166.1	3.5	71.3
19	175.9	3.5	75.3

La Ilustración 42 presenta gráficamente los datos de la Tabla 22, mostrando la relación entre la frecuencia y la velocidad angular del motor durante la operación conjunta de ambos sistemas, es decir, mientras el equipo está en funcionamiento. La tendencia observada sigue siendo lineal, representada por la ecuación $y = 9.2464x - 0.0143$, donde "y" representa la velocidad angular y "x" la frecuencia. Esta ecuación servirá como referencia para el operario al buscar variar las RPM de la polea conducida sin necesidad de manipular el variador de frecuencia.

Ilustración 42.

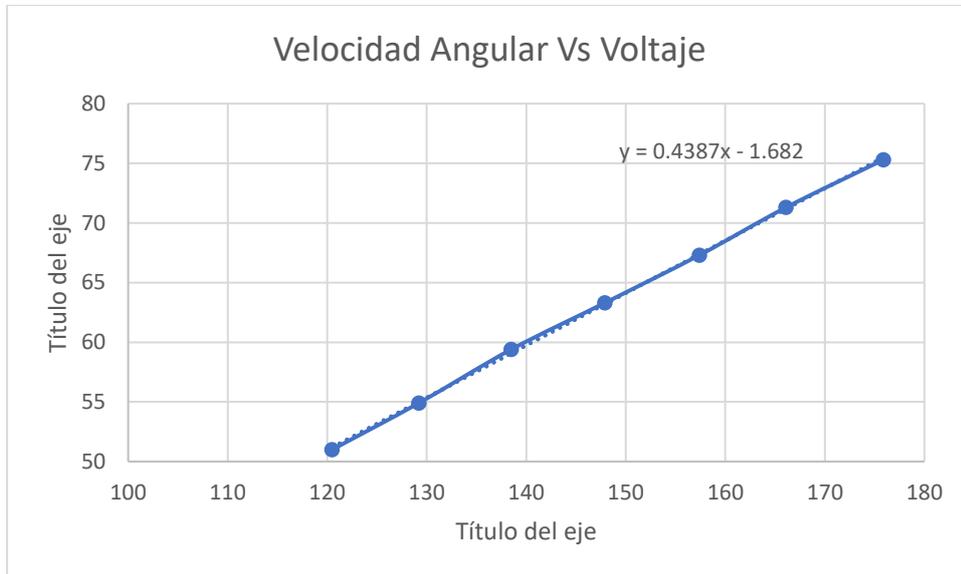
Grafica Frecuencia Vs Velocidad Angular obtenida en pruebas de operación de ambos sistemas



Los resultados obtenidos a través de la Tabla 22 revelan una clara tendencia lineal entre la velocidad angular y el voltaje, como se evidencia en la Ilustración 43. Es decir, a medida que la velocidad aumenta, también lo hace el voltaje. Como se mencionó anteriormente, el variador de frecuencia regula la velocidad al variar el voltaje, manteniendo constante el amperaje. Esto implica un incremento en la potencia eléctrica a medida que las revoluciones aumentan, traduciéndose en un aumento correspondiente en la potencia mecánica. En otras palabras, tanto la potencia mecánica como la eléctrica aumentarán en consonancia con el incremento de la velocidad angular del motor.

Ilustración 43.

Grafica Velocidad Angular Vs Voltaje obtenida en pruebas de vacío



El sistema antiguo de la máquina operaba con un embrague magnético, diseñado para funcionar con corriente continua. Este requería un transformador y un rectificador para convertir la corriente alterna a corriente continua. No obstante, en la actualidad, se ha implementado un sistema de control con un variador y un paro de emergencia. Este nuevo sistema es equivalente al anterior, aunque opera electromecánicamente sobre el voltaje que llega al motor eléctrico en lugar de actuar directamente sobre el eje mecánico. Dado este cambio, el embrague magnético no fue habilitado debido a la inversión significativa realizada en la instalación del variador de frecuencia, el cual garantiza una operación correcta para el usuario.

Inicialmente, se decidió conservar el embrague, ya que forma parte integral del diseño original de la máquina. Esta elección se basó en la consideración de reducir costos, dado que modificar el uso del embrague habría implicado reubicar completamente el equipo. Esto sería prácticamente equivalente a construir una nueva máquina, ya que el eje atraviesa el embrague y cuenta con soporte en ese punto.

Sin embargo, al evaluar la posibilidad de extraer el embrague magnético junto con el cliente, este proporcionó cada uno de los componentes necesarios, lo cual no representó un problema económico. La implementación de esta opción llevó a la fabricación de un nuevo eje, la instalación de dos chumaceras nuevas y la adaptación del matrimonio y la polea. Es importante destacar que esta mejora no afectó el funcionamiento ni del variador ni del sistema de poleas con banda.

3.4.4 Evaluación del equipo en operación

Las pruebas de operación del equipo se llevaron a cabo a la frecuencia de 16 Hz utilizando un rollo de alambre #16. Al colocar el alambre en la platina y activar el selector de posiciones en ON, se observó que la máquina pudo formar los eslabones al alambre sin ningún problema (Ilustración 44). Este resultado positivo respalda la efectividad del equipo, demostrando su capacidad para trabajar de manera efectiva con el material utilizado en las pruebas. Estos hallazgos son alentadores considerando la inversión realizada.

Ilustración 44.

Alambre #16 eslabonado



En la ilustración 45, se observa la elaboración de un metro de alambre eslabonado, esto sugiere que tanto el sistema de reducción de velocidad, liderado por el variador de frecuencia, como el sistema de transmisión de potencia, compuesto por el sistema de poleas, fueron diseñados de manera que la funcionalidad de la máquina sea óptima. Este enfoque asegura el cumplimiento exitoso del objetivo principal del proyecto.

Ilustración 45.

Un metro de alambre eslabonado por la maquina



En la ilustración 46, se aprecia el proceso de tejido del alambre eslabonado para formar una malla. Este procedimiento se lleva a cabo de manera manual por el operario. No obstante, es importante señalar que los planos originales incluían una mesa de mallado, la cual, lamentablemente, se encuentra extraviada. Por lo tanto, será necesario fabricar dicha mesa para asegurar la correcta operación.

Ilustración 46.

Alambre eslabonado tejido para formar la malla

**3.5 Análisis de resultados del proyecto**

Con los resultados obtenidos del funcionamiento conjunto del sistema de reducción de velocidad y el sistema de transmisión de potencia durante las pruebas experimentales, se procedió al análisis correspondiente.

Selección y adaptación de la banda en V:

Se decidió utilizar una banda en V de 142 cm de longitud, incrementando 7 cm respecto a los 135 cm calculados inicialmente. Este ajuste se debió al aumento de la distancia entre centros a 42 cm, garantizando una tensión adecuada y evitando presiones excesivas sobre la polea conducida, lo que asegura un movimiento ininterrumpido del eje. Además, la variación mínima en los ángulos reales de contacto (155° para la polea menor y 204° para la polea mayor) a una distancia de 42 cm evidencia el buen diseño del sistema de transmisión.

Resultados de las pruebas de operación conjunta:

Durante las pruebas conjuntas de los sistemas de reducción de velocidad y transmisión de potencia a una frecuencia de 16 Hz, se registraron 147.9 RPM en la polea conducida de 10 pulgadas. Este aumento de 4.29 RPM respecto a los 143.61 RPM previos se tradujo en un incremento de la velocidad de salida del alambre a 0.38 m/s en un lapso de 2.58 segundos.

Análisis de frecuencias y voltajes:

Las pruebas se llevaron a cabo dentro del rango de frecuencias establecido en las pruebas en vacío, considerando la variable del voltaje. Se observó que el amperaje se mantenía constante, y el variador operaba ajustando el voltaje, como se muestra en la Tabla 22. La tendencia lineal entre la frecuencia y la velocidad angular (Ilustración 40) proporciona una referencia útil para ajustar las RPM de la polea conducida sin manipular el variador de frecuencia.

La relación lineal entre la velocidad angular y el voltaje se evidencia en la Ilustración 41. A medida que la velocidad aumenta, también lo hace el voltaje. El variador de frecuencia regula la velocidad al variar el voltaje, manteniendo constante el amperaje. Esto implica un incremento en la potencia eléctrica y mecánica a medida que las revoluciones aumentan.

Implementación del nuevo sistema de control:

La transición del antiguo sistema con embrague magnético a un sistema de control con variador y paro de emergencia ha sido exitosa. Esta mejora elimina la necesidad de transformadores y rectificadores utilizados en el sistema antiguo. La decisión de mantener el embrague sin habilitar, inicialmente fundamentada en consideraciones de costos y limitaciones de tiempo, fue evaluada posteriormente con el cliente, quien proporcionó los componentes necesarios para sustituir el embrague. La implementación de esta opción implicó la fabricación de un nuevo eje, la instalación de dos chumaceras nuevas y la adaptación del matrimonio y la polea, sin afectar el funcionamiento tanto del variador como del sistema de poleas con banda.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo, se resumen las conclusiones fundamentales derivadas de la rehabilitación mecánica de la máquina, en consonancia con los objetivos y resultados de este proyecto. También se detallan recomendaciones basadas en las conclusiones y observaciones que surgieron progresivamente durante la ejecución del proyecto. El propósito es guiar acciones futuras y proporcionar una ruta clara para llevar a cabo posibles mejoras.

4.1.1 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto, se detallan las conclusiones de este estudio, que refleja un análisis exhaustivo de la operación conjunta entre el sistema de reducción de velocidad y el sistema de transmisión de potencia. Este análisis se llevó a cabo con base en los objetivos planteados al inicio del proyecto.

La introducción del variador de frecuencia en el nuevo sistema de transmisión de la máquina no solo representa un avance significativo, sino que también proporciona una versatilidad considerable en el control de la velocidad de salida del motor. Este componente adicional se traduce en una operación más cómoda y adaptable para el usuario. Este avance no solo responde a los objetivos planteados al inicio del proyecto, sino que también abre nuevas posibilidades para optimizar el rendimiento y la eficiencia en el contexto operativo de la máquina.

La capacidad del variador de frecuencia para funcionar como freno del motor ha redundado en el uso del embrague magnético. La inclusión del embrague en el sistema se llevó a cabo principalmente para respetar el diseño original de la máquina, aunque en la práctica su necesidad se ve minimizada por la versatilidad y funciones del variador de frecuencia. Este hallazgo sugiere una posible simplificación del diseño futuro, aprovechando plenamente las capacidades del variador de frecuencia y ajustando el sistema según las necesidades operativas reales.

El sistema de transmisión, inicialmente diseñado para operar a una frecuencia de 16 Hz con el objetivo de alcanzar una velocidad de salida del alambre de 0.38 m/s, se ajusta de manera cercana al valor estipulado de 0.30 m/s en las asunciones de diseño, siempre y cuando la temperatura del motor se mantenga dentro de límites aceptables. Este enfoque de diseño, centrado en la frecuencia inicial, demostró ser eficaz para lograr la velocidad deseada del alambre.

La incorporación de un sistema de transmisión mediante banda y poleas no solo ha resultado en una significativa disminución del tiempo requerido en las tareas de mantenimiento, sino que también ha generado beneficios adicionales en términos de comodidad para el operario. La reducción notable de ruidos durante la operación resalta la eficacia de este diseño, proporcionando un entorno de trabajo más tranquilo y amigable. Estos resultados sugieren que la elección de un sistema de transmisión basado en bandas y poleas mejora las condiciones de operación, contribuyendo al bienestar general del entorno de trabajo.

La máquina se encuentra operativa con un funcionamiento adecuado tanto en el variador como en el sistema de poleas. No obstante, para poner en marcha la operación del equipo se hace necesario la fabricación de componentes adicionales, los cuales están detallados en los planos originales. Este paso adicional constituye un requisito esencial para la plena operatividad de la máquina.

La mayor parte de los componentes fueron reutilizados con el objetivo de preservar, en la medida de lo posible, el diseño original. Cada uno de estos elementos fue minuciosamente revisado para obtener una evaluación exhaustiva. Esta evaluación sirvió como base para continuar con el proceso de rediseño, asegurando la integración efectiva de los componentes existentes y proporcionando una plataforma sólida para las mejoras planificadas.

4.1.2 Recomendaciones

A partir del desarrollo del proyecto de materia integradora se plantean varias recomendaciones que serán de utilidad para la operación del equipo.

Se recomienda revisar la alineación del eje antes de poner en marcha la operación, incluso si actualmente se encuentra alineado. Este procedimiento es necesario para prevenir posibles desalineaciones que podrían afectar el rendimiento del caucho ubicado en el acoplamiento, evitando así fallos prematuros.

Se sugiere una lubricación regular a las chumaceras a fin de asegurar un funcionamiento eficiente y prolongar la vida útil de los rodamientos.

Se aconseja revisar el tensado de la banda para garantizar un correcto funcionamiento del sistema. Evitar la sobretensión, ya que puede afectar negativamente en el movimiento del eje y en el tiempo de vida útil de la banda.

Se recomienda construir la mesa porta mallas antes de operar el equipo, ya que actualmente no está disponible; no obstante, forma parte de los planos originales de la máquina.

Se recomienda considerar la rehabilitación de máquinas descompuestas o fuera de uso, tal como se demostró en este proyecto, con el objetivo de aprovechar la vida útil de los componentes para propósitos didácticos u operativos.

Se recomienda realizar una evaluación exhaustiva del estado actual del embrague magnético, abordando tanto los aspectos mecánicos como eléctricos. Además, se sugiere considerar su instalación en el futuro con el fin de preservar la integridad del diseño original de la máquina. Esto podría ser necesario, incluso con la presencia del variador de frecuencia en el sistema, con el propósito de lograr una operación más controlada.

Se recomienda fabricar varias platinas o lengüetas de arrastre que sean capaces de eslabonar varios calibres de alambre. Con base en esto, ajustar la velocidad del motor para diferenciar de manera didáctica el esfuerzo necesario para deformar alambres de diferentes diámetros.

Referencias

- [1] Sidoc, «Malla eslabonada,» 2023. [En línea]. Available: <https://sidocsa.com/producto/malla-eslabonada>. [Último acceso: 21 Octubre 2023].
- [2] Mallas Julio Torres, «Malla eslabonada,» 2021. [En línea]. Available: <https://mallasjuliotorres.com/malla-eslabonada-2>. [Último acceso: 21 Octubre 2023].
- [3] Hierros HB, «Malla eslabonada,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.hierroshb.com/producto/malla-eslabonada>. [Último acceso: 21 Octubre 2023].
- [4] PanelCo, «Malla eslabonada,» 2023. [En línea]. Available: <https://panelco.com.co/siderurgicos/malla-eslabonada>. [Último acceso: 21 Octubre 2023].
- [5] Mallas gaviones y cerramientos SAS, «Que es la malla eslabonada y cuando utilizarla,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.mallasgavionesas.com/2020/11/13/que-es-la-malla-eslabonada-y-cuando-utilizarla>. [Último acceso: 21 Octubre 2023].
- [6] SESTA, «Equipo para redes metálicas,» 2016. [En línea]. Available: <http://sesta.ru/avtomaty-dlja-proizvodstva-pletenoj-setki-rabicy/>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [7] MANEK, «Maquinas para fabricar cercado eslabonado,» [En línea]. Available: <http://www.maneklal.com/Espanol/SmallScale/ChainLink.htm>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [8] Bergandi, «Worldwide Leaders in Wire machinery,» [En línea]. Available: <http://www.bergandi.com/product/wvr-500-chain-link-weaver-2/>. [Último acceso: 22 Octubre 2023].
- [9] TELAS E ARAMES JAVALI, «EMPRESA JAVALI,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.telas-javali.com.br/empresa>. [Último acceso: 10 Noviembre 2023].
- [10] TELAS E ARAMES JAVALI, «MÁQUINA CRIBADORA DE ALAMBRE DE EMBRAGUE MT100,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.telas-javali.com.br/produtos/maquina-de-telas-de-alambrado-embregem-mt100/22>. [Último acceso: 10 Noviembre 2023].

- [11] C. D. Collaguazo Pujota y E. D. Lopez Chulca, «Diseño y construcción de una máquina para fabricar malla de alambre de forma romboidal de 2 m de alto y 10 m de ancho con un eslabón de 50 mm,» Quito, 2019.
- [12] JAVALI INDUSTRIA E COMERCIO, «Máquina de telas [Video],» YouTube, 2018.
- [13] F. Daquilema Sanchez, I. Perez Cervantes y J. Nowac, «MAQUINA TEJEDORA DE ALAMBRE,» Programa de tecnologia mecanica (PROTMEC), Guayaquil - Ecuador, 2002-2003.
- [14] ABB, «Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas,» 2023. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador#:~:text=El%20variador%20de%20frecuencia%20regula,un%2020%20y%20un%2070%25..> [Último acceso: 10 Diciembre 2023].
- [15] R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, «Transmisiones de banda plana o redonda,» de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Mexico, McGraw-Hill Interamericana, 2008, p. 863.

Anexos

ANEXO A**Tabla A-1.***Procedimiento para arranque de la maquina*

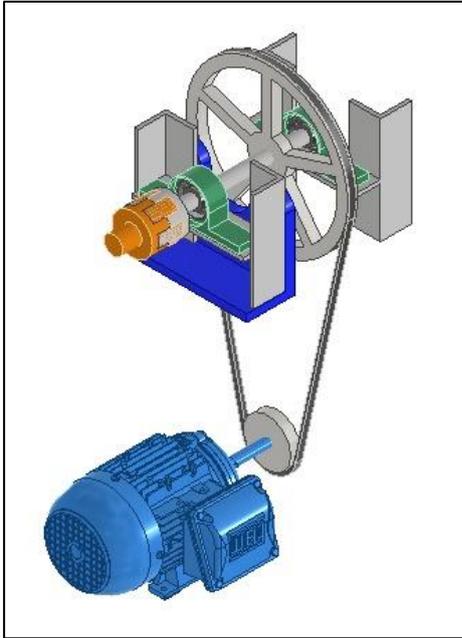
Orden de pasos	Descripción
1	Conectar el tomacorriente a la fuente de alimentación trifásica 220 V
2	Colocar el breaker trifásico de 16 A en la posición ON
3	Pulsar el botón ON en el variador de frecuencia
4	Verificar la frecuencia a la que está operando el variador, lo recomendable es 16 Hz
5	Colocar el selector en la posición ON

Tabla A-2.*Procedimiento para parada de la maquina*

Orden de pasos	Descripción
1	Colocar el selector en la posición OFF / En caso de ser requerido pulsar el hongo de parada emergencia
2	Pulsar el botón OFF en el variador de frecuencia
3	Colocar el breaker trifásico de 16 A en la posición OFF
4	Desconectar el tomacorriente a la fuente de alimentación trifásica 220 V

ANEXO B**Ilustración B-1.**

Vista isométrica de la primera chumacera del rediseño del sistema de transmisión sin la presencia del embrague

**Ilustración B-2.**

Vista isométrica de la segunda chumacera del rediseño del sistema de transmisión sin la presencia del embrague

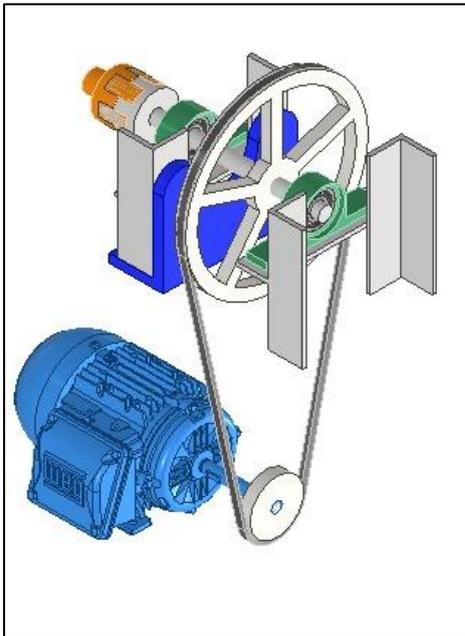
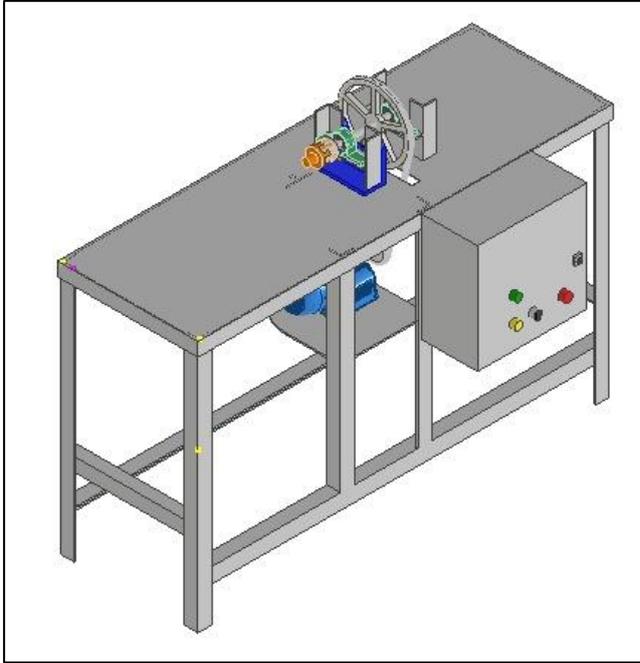


Ilustración B- 3.

Vista isométrica de la maquina ensamblada

**Ilustración B- 4.**

Vista isométrica del rediseño de maquina

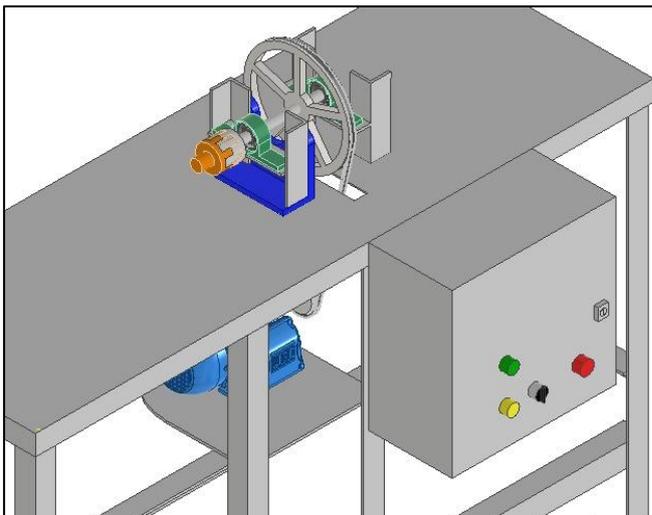
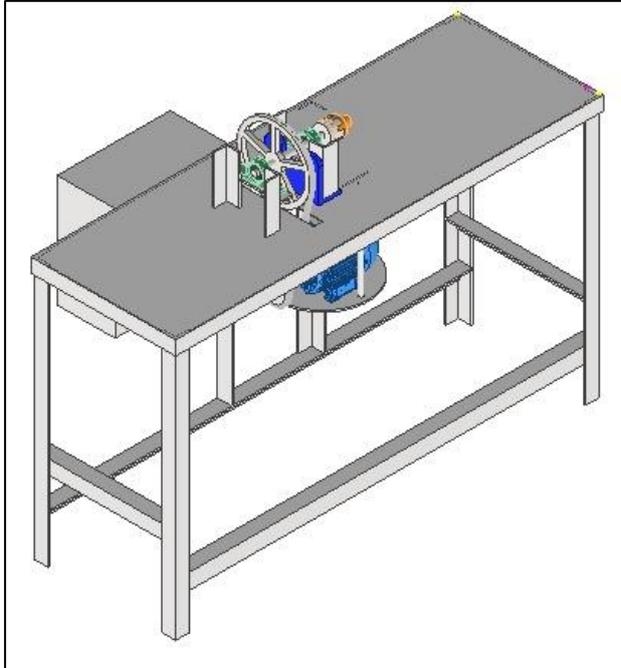


Ilustración B- 5.

Vista diagonal posterior de la maquina rediseñada



ANEXO C

Tabla C- 1.

Descripción de la valoración realizada a los componentes mecánicos

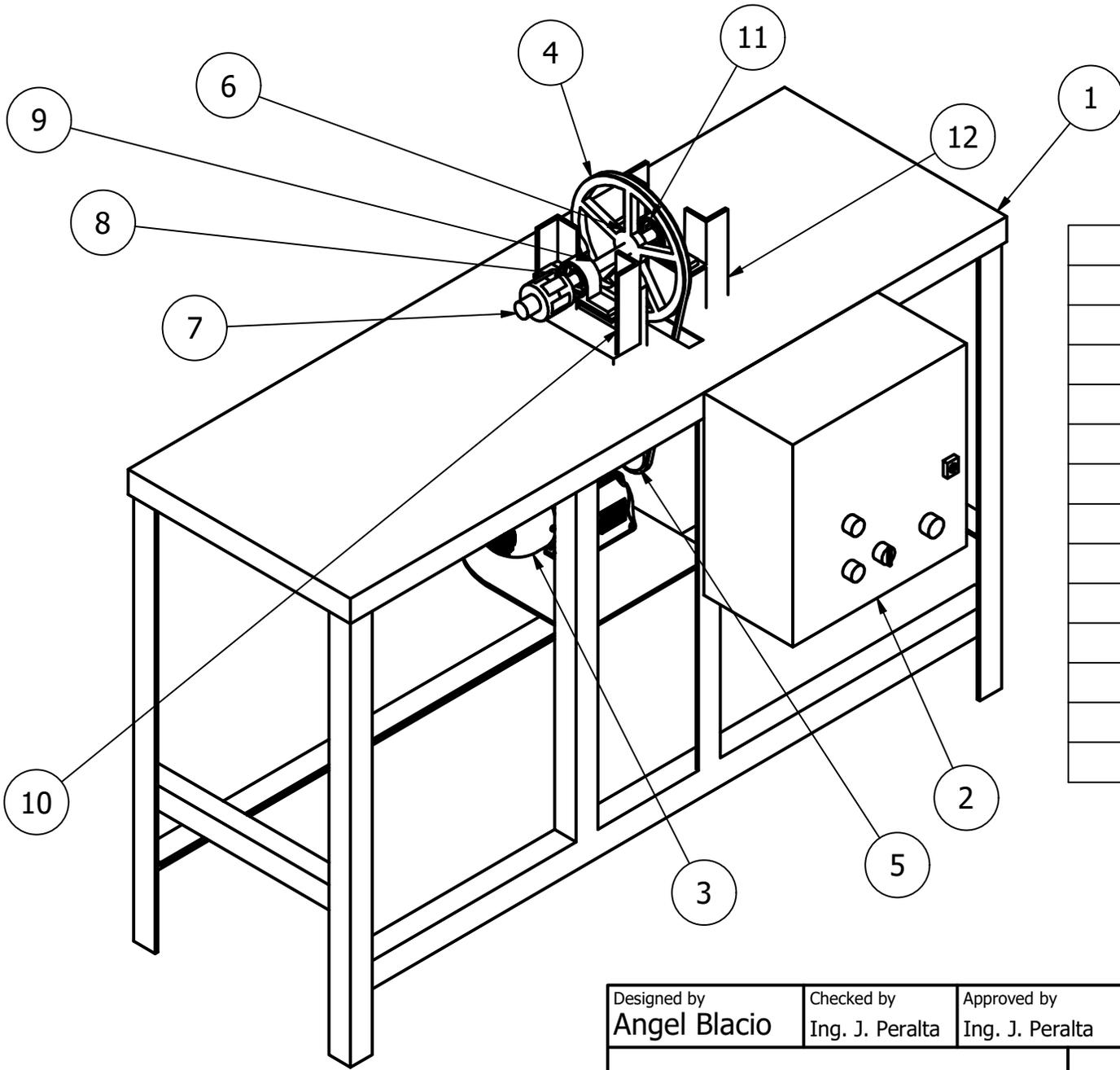
Parte mecánica	
Componente	Detalle de la valoración
Chumaceras autoalineables – Acero especial / Ø32	No hay signos de daños, desgastes o contaminación. No hay grietas, deformaciones, corrosión o acumulación de suciedad en la chumacera.
Embrague magnético / Ø160x200	No hay signos de daños, desgastes o contaminación.
Acople flexible o Matrimonio – Acero especial / Ø65x95	No hay signos de daños, ni desgastes.
Lengüeta de arrastre – Acero DF- 2 / 10x42x250	Leve deformación, sin embargo, sirve para la operación.
Eje del casquillo – Acero 705 / Ø35x260	Leve presencia de corrosión. Sin presencia de grietas o deformaciones.
Eje roscado porta lengüeta – Acero 705 / Ø35x90	Leve presencia de corrosión. Sin presencia de grietas o deformaciones.
Casquillo conformador – Acero 705 / Ø85x250	Leve presencia de corrosión, leve acumulación de suciedad. Sin presencia de grietas o deformaciones.

Bases porta chumaceras – Acero de transmisión / 70x70x180	Leve presencia de corrosión. Sin presencia de grietas o deformaciones.
Bases porta embrague magnético – Acero de transmisión / M 16	No hay grietas, deformaciones o corrosión.
Base porta casquillo – Acero de transmisión / 500x500x1000	No hay grietas, deformaciones o corrosión.

Tabla C- 2.

Descripción de la valoración realizada a los componentes eléctricos

Parte eléctrica	
Componente	Estado actual
Contactador Siemens Sirius 3RT1023-1A..0	Desgaste en los contactos, requiere cambio.
Bloque interruptor auxiliar Siemens 3RH1921-1DA11	No hay partes rotas, cables sueltos o conexiones corroídas.
Transformador de 100V	Evidentes daños externos, presencia de corrosión.
Guardamotor Telemecanique GV2-M07 1.6-2.5A	Presencia de corrosión.
Pulsadores de control: Start / Stop / Emergency Stop	Signos evidentes de daños, pulsadores rotos.



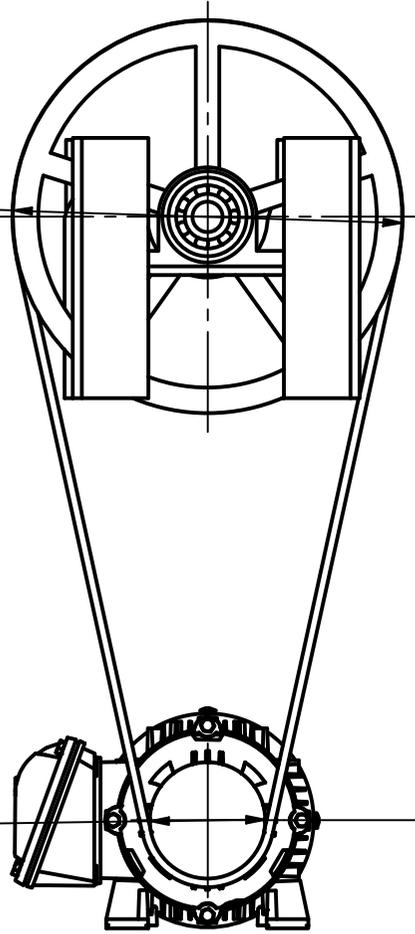
PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Mesa
2	Tablero
3	Motor
4	V-Belt
5	Flat Pulley
6	Grooved Pulley
7	Matrimonio
8	Eje 1"
9	Chumacera 1
10	Base de chumacera 1
11	Chumacera 2
12	Base de chumacera 2

Designed by Angel Blacio	Checked by Ing. J. Peralta	Approved by Ing. J. Peralta	Date	Date 20/1/2024
ESPOL		Máquina especializada para la fabricación de mallas eslabonadas		
		Scale 1 : 10	Sheet 1/3	

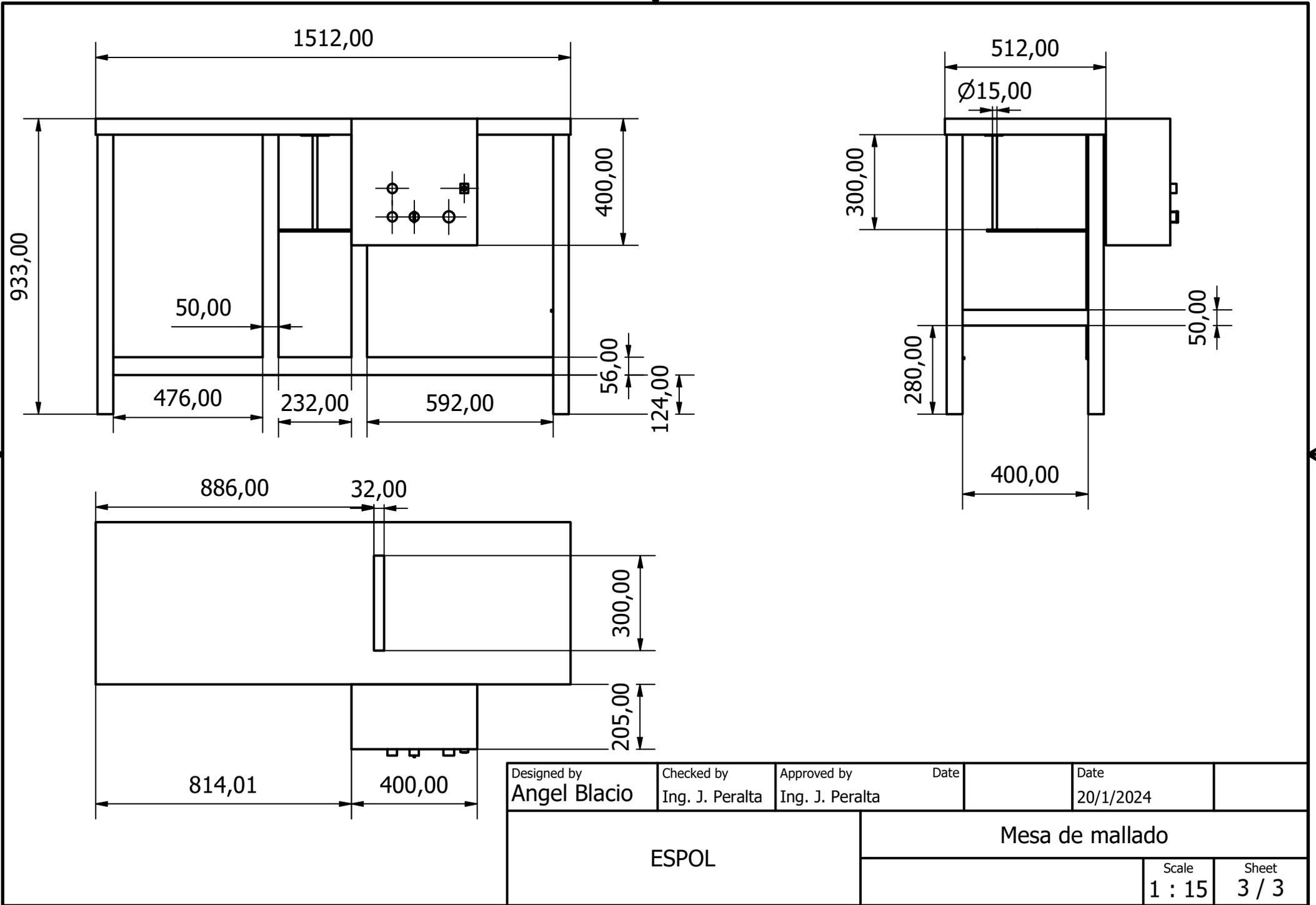
Ø258,00
10"

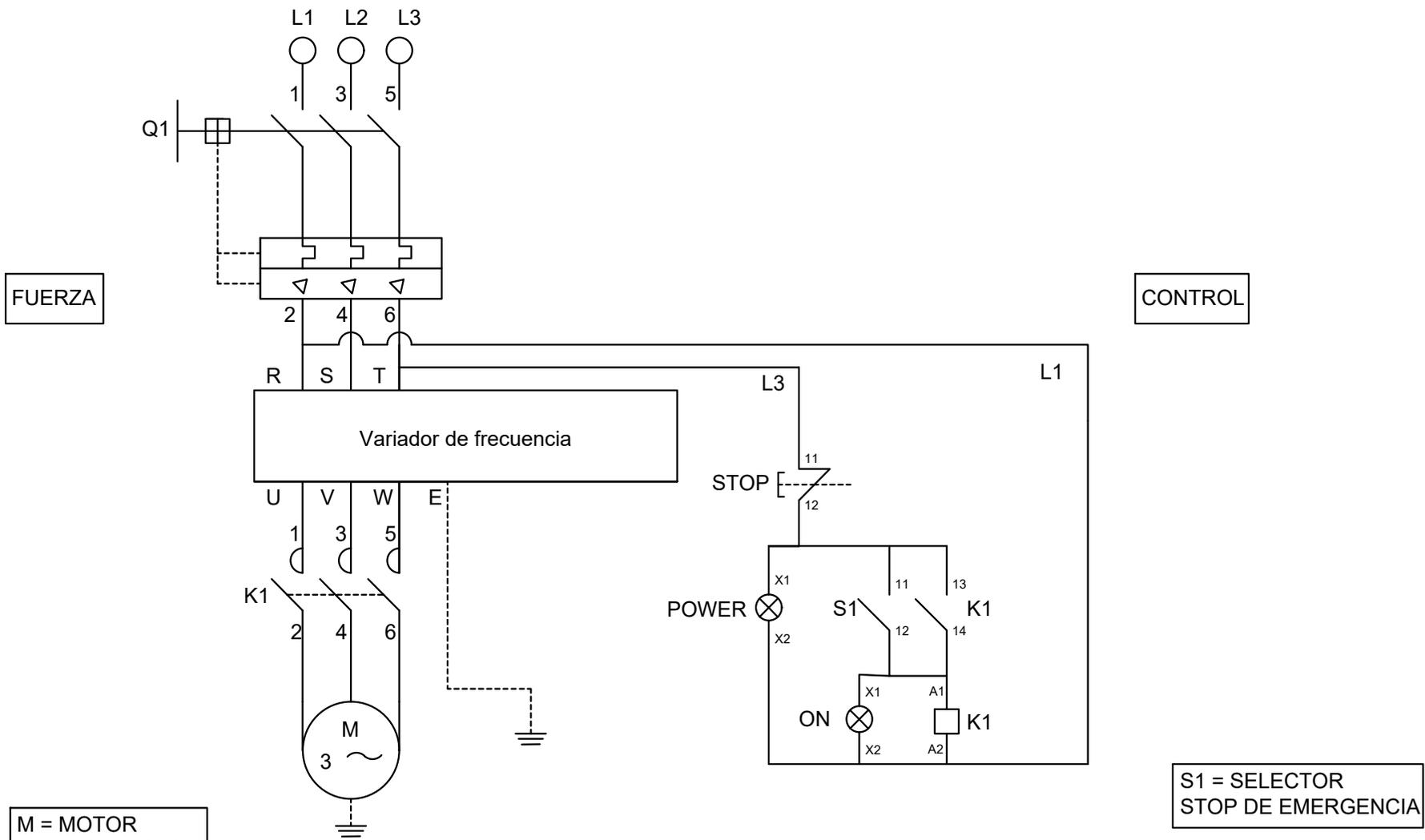
Ø76,20
3"

420,00



Designed by Angel Blacio	Checked by Ing. J. Peralta	Approved by Ing. J. Peralta	Date	Date 20/1/2024	
ESPOL			Sistema de Transmisión		
				Scale 1 : 5	Sheet 2 / 3





DIBUJADO	ANGEL BLACIO	ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral
REVISADO	JUAN PERALTA	
FECHA	2/2/2024	
PLANO N° 4		
DIAGRAMA ELÉCTRICO		