

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diagnóstico y mantenimiento de la cilindradora de chapas del Centro de
Desarrollo Tecnológico Sustentable de ESPOL

TECN-020

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Tecnología Superior en mecatrónica

Presentado por:

Jetzon Geovanny Reyes Solorzano

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi familia, quienes, con su apoyo incondicional, amor y confianza han sido mi mayor inspiración en este camino académico. También lo dedico a todos los docentes de la ESPOL y tutores de la empresa formadora que compartieron sus conocimientos y fomentaron mi pasión por la mecatrónica.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios, quien me dio la fortaleza para superar cada desafío. A mi familia, por su paciencia y motivación constante. A la ESPOL, por ofrecerme una educación de calidad y la oportunidad de formarme en un entorno académico de excelencia. A la empresa formadora, por ser un pilar fundamental en mi formación profesional a través de la modalidad dual, brindándome un espacio para aplicar mis conocimientos y adquirir experiencia práctica. Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos por su apoyo y camaradería a lo largo de este camino.

Declaración Expresa

Yo, Reyes Solorzano Jetzon Geovanny, acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, 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 o autores.

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/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores 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, 19 de mayo del 2025.



Reyes Solorzano Jetzon

Geovanny

Evaluadores

**MSc. JOSÉ GABRIEL MARTÍNEZ
BARRE**
Profesor de Materia

**PhD. MIGUEL ALBERTO
RODRÍGUEZ**
Tutor de proyecto

Resumen

La rehabilitación de la máquina cilindradora de chapas del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable de ESPOL se planteó con el objetivo de recuperar su operatividad, optimizar el rendimiento y prolongar su vida útil. La hipótesis sostiene que, mediante un proceso de restauración técnica, basado en normas de mantenimiento industrial, es posible restablecer su funcionamiento de manera eficiente. El proyecto se justifica por la necesidad de disponer de equipos en condiciones adecuadas para actividades de formación, investigación y servicios tecnológicos, contribuyendo al desarrollo sustentable.

Durante el desarrollo del proyecto se emplearon herramientas de medición, equipos de soldadura, repuestos metálicos y lubricantes industriales. Se aplicaron técnicas de desmontaje, alineación, rectificación y ensamblaje, siguiendo normas de seguridad ocupacional e instrucciones técnicas de operación.

Los resultados demostraron una óptima capacidad operativa de la cilindradora, con una capacidad de doblar plancha de hasta 3 mm de espesor; además se cambió el color de la máquina, y a los 4 tornillos de regulación, 3 rodillos y 4 engranes se le dio mantenimiento. Se fabricó la protección de los engranes para evitar atrapamientos, por otro lado, se compró un rollo de cable N° 8 de 7 hilos con 0.6 cm de diámetro para volver a cablear el sistema eléctrico, en un nuevo gabinete.

Se concluyó que la rehabilitación garantizó la funcionalidad de la máquina, fortalece las capacidades prácticas del centro y contribuye al uso eficiente de recursos tecnológicos.

Palabras clave: rehabilitación, cilindradora, mantenimiento industrial, ESPOL

Abstract

The rehabilitation of the sheet metal rolling machine at ESPOL's Sustainable Technology Development Center was proposed with the objective of restoring its operational capacity, optimizing its performance, and extending its useful life. The hypothesis is that, through a technical restoration process based on industrial maintenance standards, it is possible to restore its efficient operation. The project is justified by the need to have equipment in adequate condition for training, research, and technological services, contributing to sustainable development.

During the project, measuring tools, welding equipment, metal spare parts, and industrial lubricants were used. Disassembly, alignment, rectification, and assembly techniques will be applied, following occupational safety standards and technical operating instructions.

The results demonstrated the optimal operating capacity of the roll forming machine, capable of bending sheet metal up to 3 mm thick. The machine's color was also changed, and the four adjustment screws, three rollers, and four gears were serviced. Gear guards were manufactured to prevent entrapment. A roll of No. 8, seven-wire cable with a diameter of 0.6 cm was purchased to rewire the electrical system in a new cabinet.

It was concluded that the rehabilitation guaranteed the machine's functionality, strengthened the center's practical capabilities, and contributed to the efficient use of technological resources.

Keywords: rehabilitation, roll forming machine, industrial maintenance, ESPOL

Índice general

Portada	
Dedicatoria	II
Agradecimiento	III
Declaración Expresa	IV
Evaluadores	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Índice general.....	VIII
Abreviaturas	X
Simbología	XI
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XII
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Marco teórico	5
1.5.1 Conformado por laminación de chapas y funcionamiento de cilindradoras	5
1.5.2 Desempeño, precisión y fallas frecuentes.....	6
1.5.3 Componentes de máquinas cilindradoras.....	7
1.5.4 Proyectos de rehabilitación de cilindradoras	9
1.5.5 Especificaciones técnicas	10
Capítulo 2	12
2.1 Metodología.....	13
2.2 Enfoque metodológico.....	14
2.3 Etapas del proceso metodológico.....	14
2.3.1 Diagnóstico inicial	14
2.3.2 Formulación de alternativas de solución	15

2.3.3 Selección de la alternativa	15
2.3.4 Ejecución de la rehabilitación	15
2.3.5 Validación de resultados	16
Capítulo 3	17
3.1 Resultados y Análisis.....	18
Capítulo 4	24
4.1 Conclusiones y recomendaciones	25
4.1.1 Conclusiones.....	25
4.1.2 Recomendaciones	26
Referencias	27

Abreviaturas

ESPOL – Escuela Superior Politécnica del Litoral

CDTS. - Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable

CNC. - Control Numérico Computarizado

UPS. – Universidad Politécnica Salesiana

TPM. – Mantenimiento productivo Total

ISO – Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*)

ISA – Sociedad Internacional de Automatización (*International Society of Automation*)

ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible

Simbología

A – Amperio

°C – Grados Celsius

Hz – Hertz (Hercios)

kW – Kilovatio

mA – Miliamperio

Ω – Ohm (Resistencia eléctrica)

V – Voltio

Mm – Milímetro

Cm - Centímetro

Índice de figuras

Figura 1	6
Figura 2	8
Figura 3	11
Figura 4	13
Figura 5	14
Figura 6	16
Figura 7	19
Figura 8	19
Figura 9	20
Figura 10.....	20
Figura 11	20
Figura 12	21
Figura 13	21
Figura 14	21
Figura 15	22
Figura 16	22
Figura 17.....	23

Índice de tablas

Tabla 1	10
Tabla 2	11
Tabla 3	15
Tabla 4	19
Tabla 5	20
Tabla 6	21
Tabla 7	22

Capítulo 1

1.1 Introducción

La innovación tecnológica aplicada a los procesos industriales constituye un pilar fundamental en el desarrollo económico y productivo de los países. En este contexto, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a través de su Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS), se ha consolidado como un espacio de investigación y formación en áreas vinculadas con la ingeniería mecánica, la eficiencia energética y la implementación de procesos sostenibles. Uno de los retos que enfrenta este centro es mantener en óptimas condiciones la maquinaria que forma parte de su infraestructura, ya que estas herramientas no solo cumplen un papel académico en la enseñanza práctica de los estudiantes, sino que también permiten realizar proyectos de innovación aplicados a la industria nacional.

Dentro de este equipamiento, la máquina cilindradora de chapas ocupa un lugar relevante, debido a que su función principal consiste en curvar o conformar planchas metálicas para la fabricación de elementos cilíndricos, cónicos u otras geometrías utilizadas en estructuras, ductos, recipientes y componentes de la industria metalmecánica. Sin embargo, como sucede en muchas instituciones académicas de carácter experimental y tecnológico, esta máquina ha enfrentado un proceso de desgaste, obsolescencia y fallas mecánicas que limitan su funcionamiento. Este deterioro ha provocado una disminución en la calidad de los trabajos prácticos, en la seguridad de las operaciones y en la capacidad del centro para brindar soluciones a proyectos de investigación y servicios de vinculación con la sociedad.

En este marco surge la necesidad de plantear un proyecto de rehabilitación de la máquina cilindradora de chapas, con el fin de recuperar sus condiciones operativas, extender su vida útil y adaptarla a las exigencias actuales en términos de eficiencia, precisión y seguridad. Dicho proyecto no se limita únicamente a la reparación técnica del equipo, sino que también se inscribe en una visión más amplia de sostenibilidad, donde se busca optimizar los recursos

disponibles, reducir costos asociados a la adquisición de maquinaria nueva y fomentar una cultura de mantenimiento preventivo y correctivo en el ámbito académico e industrial.

Desde una perspectiva más amplia, la rehabilitación de esta máquina se vincula también con la agenda de sostenibilidad y eficiencia energética. Al extender la vida útil de un equipo ya existente, se contribuye a disminuir la huella ambiental derivada de la fabricación y adquisición de nueva maquinaria, alineándose con los principios de la economía circular y la gestión responsable de los recursos. De esta manera, el proyecto no solo responde a una necesidad técnica, sino que también constituye una acción coherente con los valores institucionales de ESPOL y su compromiso con la sustentabilidad.

1.2 Descripción del problema

En el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la ESPOL, la máquina cilindradora de chapas constituye un equipo de gran valor para las actividades académicas y de investigación en el área de manufactura y conformado de metales. Este tipo de maquinaria permite transformar planchas metálicas en piezas cilíndricas o curvas, proceso esencial en la elaboración de ductos, tanques, estructuras y componentes industriales. Su presencia en el laboratorio garantiza que los estudiantes adquieran habilidades prácticas y que los proyectos de vinculación e innovación cuenten con herramientas apropiadas para responder a necesidades reales del sector productivo.

Sin embargo, La máquina cilindradora de chapas del CDTS de ESPOL se encuentra en un estado de deterioro y obsolescencia que impide su adecuado funcionamiento, limita el aprendizaje práctico de los estudiantes, reduce la capacidad de investigación y restringe los servicios tecnológicos hacia la industria, generando la necesidad de un proceso integral de rehabilitación que restaure su operatividad, prolongue su vida útil y garantice su aporte a la formación académica y al desarrollo sostenible.

1.3 Justificación del problema

La máquina cilindradora de chapas del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de ESPOL es un recurso clave para la formación académica, la investigación aplicada y el desarrollo de proyectos con la industria. Actualmente, el equipo presenta fallas mecánicas y desgaste de componentes que limitan su funcionamiento, reducen la calidad de las prácticas estudiantiles y restringen la capacidad institucional de generar soluciones tecnológicas.

La rehabilitación de la máquina se justifica por varias razones fundamentales:

- Académica: permite a los estudiantes realizar prácticas con equipos funcionales, fortaleciendo su aprendizaje práctico y competencias profesionales.
- Investigación y desarrollo: asegura que el CDTS cuente con una herramienta operativa para proyectos de innovación y vinculación con la industria.
- Económica: resulta más rentable recuperar la máquina existente que adquirir un equipo nuevo, optimizando recursos institucionales.
- Ambiental: prolongar la vida útil del equipo contribuye a la sostenibilidad y reduce el impacto ambiental asociado a la fabricación y desecho de maquinaria.
- Seguridad: rehabilitarla garantiza condiciones seguras de operación, evitando riesgos para estudiantes y docentes.

En consecuencia, este proyecto no solo resuelve un problema técnico, sino que también fortalece la calidad educativa, promueve la investigación aplicada, optimiza recursos y se alinea con los principios de sostenibilidad de ESPOL. Resolver esta situación es, por tanto, una necesidad estratégica para mantener el compromiso institucional con la formación integral y el desarrollo tecnológico sustentable.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo General*

Rehabilitar la máquina cilindradora de chapas del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable de ESPOL mediante un proceso de diagnóstico, reparación y mantenimiento de sus componentes, con el fin de restablecer su operatividad, mejorar la seguridad en su uso y garantizar su aporte a la formación académica.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Diagnosticar el estado actual de la máquina cilindradora, identificando fallas mecánicas, eléctricas y de transmisión que afecten su funcionamiento.
- Ejecutar el proceso de reparación y ajustes necesarios, garantizando que la máquina recupere eficiencia, precisión y condiciones seguras de operación.
- Validar el correcto funcionamiento del equipo rehabilitado mediante pruebas de operación y producción de piezas metálicas con especificaciones técnicas establecidas.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Conformado por laminación de chapas y funcionamiento de cilindradoras

El proceso de curvado de chapas metálicas mediante cilindradoras se fundamenta en la deformación plástica producida al someter la lámina a la acción de rodillos. A través de sucesivos pases, la chapa adquiere una forma cilíndrica, cónica u otra geometría curvada, dependiendo del ajuste de los rodillos y de las características del material (Krause, 2019).

Las cilindradoras se clasifican, de acuerdo con su configuración, en máquinas de dos, tres y cuatro rodillos. Las de tres rodillos son ampliamente utilizadas en talleres y laboratorios universitarios por su versatilidad y capacidad de adaptación a distintos espesores de chapa (Reyes & Molina, 2018). En el contexto ecuatoriano, investigaciones previas han abordado

tanto el diseño como la operación de estas máquinas, evidenciando su relevancia para la enseñanza práctica en ingeniería mecánica (Sánchez, 1993).

Figura 1

Máquina cilindradora a ser reparada



Nota: Fotografía tomada del CDTs

1.5.2 Desempeño, precisión y fallas frecuentes

El desempeño de una cilindradora depende de factores como la rigidez estructural del bastidor, el estado de los rodillos, la alineación de los cojinetes y la eficiencia de la transmisión. El desgaste de rodillos y las holguras mecánicas generan defectos como ovalidad excesiva, superficies irregulares o pérdida de repetibilidad (García & Muñoz, 2017).

En equipos antiguos, además del desgaste, se observa obsolescencia tecnológica en los sistemas de control y accionamiento eléctrico, lo que limita la precisión y representa riesgos de seguridad para los usuarios (Siemens, 2015). La literatura sobre modernización de equipos industriales destaca la importancia de implementar retrofitting eléctrico mediante variadores de frecuencia y nuevos sistemas de control para garantizar eficiencia y seguridad (Liu et al., 2016).

1.5.3 Componentes de máquinas cilindradoras

Los componentes principales son los que permiten sujetar, girar y aplicar presión a la lámina para deformarla. Estos son los rodillos, la estructura, el sistema de accionamiento y los mecanismos de ajuste, apoyados por sistemas de control y accesorios que mejoran la precisión y seguridad.

Rodillos (Cilindros)

- Son los elementos principales que deforman la chapa.
- Pueden ser dos, tres o cuatro rodillos, dependiendo del tipo de cilindradora.
- El rodillo superior generalmente aplica la presión, mientras los inferiores sirven de apoyo y arrastre.

Bastidor o estructura

- Es el armazón robusto que sostiene todos los demás componentes.
- Asegura la estabilidad y resistencia durante el proceso de curvado.

Sistema de accionamiento

- Puede ser manual, mecánico, hidráulico o eléctrico.
- Se encarga de mover los rodillos para girar la chapa y aplicar la fuerza necesaria.

Mecanismos de ajuste y regulación

- Permiten modificar la posición de los rodillos (subida, bajada, inclinación).
- Esto determina el radio de curvatura y la precisión del cilindrado.

Dispositivos de sujeción y alimentación

- Facilitan la entrada, guía y sujeción de la lámina metálica.
- Algunos modelos tienen sistemas automáticos para mejorar la seguridad y precisión.

Sistema de control

- En equipos modernos, incluye controles electrónicos y CNC para programar curvaturas exactas.
- En modelos básicos, son controles manuales de palancas o pedales.

Accesorios y dispositivos auxiliares

- Mesas de apoyo, topes, guías laterales, o brazos de carga que ayudan en el trabajo con chapas grandes.

Figura 2

Componentes de una máquina cilindradora



1.5.4 Proyectos de rehabilitación de cilindradoras

Nacional

En Ecuador se han desarrollado varios proyectos relacionados con el diseño y rehabilitación de cilindradoras:

- **ESPOL (1993):** se realizó el diseño de una máquina cilindradora y curvadora de chapas como proyecto académico, aportando parámetros de cálculo y consideraciones estructurales aplicables a proyectos posteriores.
- **UPS Quito (2018):** se elaboraron estudios sobre dobladoras y roladoras hidráulicas, analizando parámetros de operación, velocidades de trabajo y condiciones de curvado en máquinas de tres rodillos.
- **Proyectos del CDTs-ESPOL:** en años recientes, se han diseñado y construido equipos como pelletizadoras y troceadoras, lo que evidencia una experiencia acumulada en procesos de diseño, rehabilitación y validación de equipos de laboratorio.

Internacional

- **Proyectos de retrofitting en Europa y Asia:** se han documentado mejoras en cilindradoras industriales mediante la incorporación de variadores de frecuencia, control digital y sistemas de monitoreo de desempeño. Estos cambios han permitido reducir costos operativos y aumentar la precisión en el curvado de chapas (Siemens, 2015; Liu et al., 2016).
- **Implementación de TPM en Japón y Estados Unidos:** se ha demostrado que el mantenimiento planificado incrementa la disponibilidad de equipos y reduce fallas inesperadas, siendo una estrategia replicable en el ámbito académico (Nakajima, 1988).

1.5.5 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas tanto de la máquina cilindradora y del motor se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 1

Especificaciones de la máquina cilindradora del CDTs

Característica	Detalle
Modelo	W11-6×1500 (3 rodillos)
Espesor máximo	3 mm
Ancho máximo de placa	1 500 mm
Diámetro rodillo superior	≈ 180 mm
Diámetro rodillos inferiores	≈ 170 mm
Potencia motor	≈ 2.2 kW (≈ 5.3 HP)
Velocidad de rodado	~7 m/min
Peso aproximado	2.6 t
Dimensiones	3310 × 1210 × 1330 mm
Uso recomendado	Curvados pequeños/medios, talleres, ventilación, prototipos

Tabla 2

Especificaciones del motor eléctrico

Característica	Detalle
Fabricante	Brook Motors Ltd.
Modelo y N° de serie	D100LA, X468125
Potencia de salida	2.2 kW
Velocidad de rotación	1700 RPM
Voltaje de operación	220/380 V
Frecuencia	60 Hz
Fase	Trifásico (3 fases)
Clase de aislamiento	Clase B

Figura 3

Cilindradora



Nota: Imagen obtenida del catálogo de Faccin

Capítulo 2

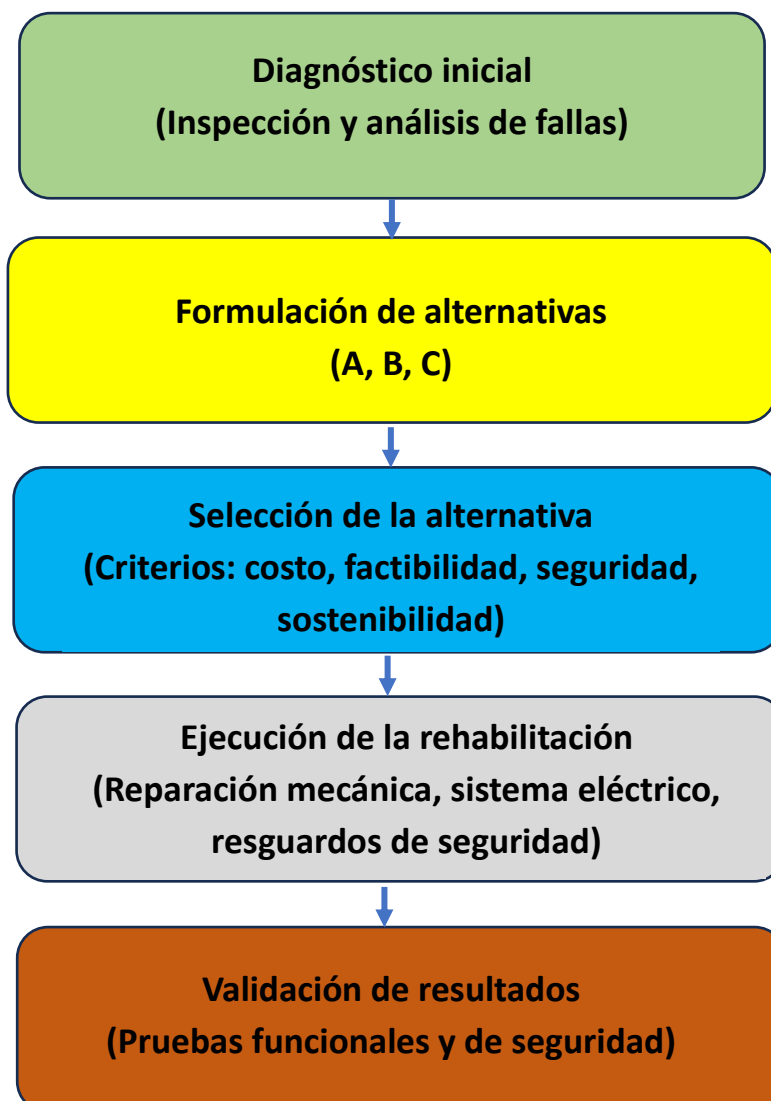
2.1 Metodología

La metodología empleada en el proyecto de rehabilitación de la máquina cilindradora de chapas del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) de la ESPOL se desarrolló de manera estructurada y sistemática, de acuerdo con los lineamientos de proyectos de mejora de equipos industriales.

Figura 4

Esquema del proyecto de rehabilitación

Metodología del Proyecto de Rehabilitación



2.2 Enfoque metodológico

El trabajo se planteó bajo un enfoque aplicado y experimental, puesto que tuvo como propósito resolver un problema práctico mediante la intervención técnica sobre un equipo en condiciones de desgaste y obsolescencia.

2.3 Etapas del proceso metodológico

2.3.1 Diagnóstico inicial

En primera instancia, se efectuó un levantamiento del estado de la máquina. Esta actividad incluyó:

- La inspección visual de los rodillos, cojinetes y bastidor.
- La verificación del estado de los sistemas de transmisión y motor eléctrico.
- El análisis de las condiciones de seguridad de la máquina en relación con la normativa ISO 12100:2010.
- La recopilación de información sobre fallas recurrentes y limitaciones en su uso académico.

Este diagnóstico permitió establecer las principales deficiencias: desgaste de rodillos, holguras en los cojinetes, deficiencias en el sistema eléctrico y ausencia de resguardos de seguridad.

Figura 5

Levantamiento del estado de la máquina



2.3.2 Formulación de alternativas de solución

Con base en el diagnóstico, se plantearon tres alternativas:

Tabla 3

Alternativas planteadas

alternativas	Descripción
A	Reparación parcial de componentes críticos (rectificado de rodillos, cambio de cojinetes y reajuste del bastidor), manteniendo el sistema eléctrico original
B	Reparación integral de componentes mecánicos y sustitución del sistema eléctrico por un motor nuevo con variador de frecuencia, además de la implementación de resguardos de seguridad.
C	Sustitución total de la máquina por un nuevo equipo comercial de características similares.

2.3.3 Selección de la alternativa

Se aplicaron criterios de evaluación relacionados con costos, factibilidad técnica, tiempo de implementación, sostenibilidad y seguridad. La alternativa A fue seleccionada por ser la opción más equilibrada, ya que permitió rehabilitar el equipo con una inversión moderada, extendiendo su vida útil y garantizando condiciones seguras de operación para el ámbito académico.

2.3.4 Ejecución de la rehabilitación

Una vez definida la alternativa, se procedió a:

1. Desmontaje de componentes mecánicos para su limpieza, inspección y reparación.
2. Rectificado y alineación de rodillos, así como sustitución de cojinetes desgastados.
3. Arreglo del sistema eléctrico, incorporando un motor de mayor eficiencia, un variador de frecuencia y controles de seguridad.
4. Implementación de resguardos metálicos en las zonas de riesgo de atrapamiento.

5. Pruebas funcionales y de seguridad, verificando la precisión del curvado, la repetibilidad del proceso y el cumplimiento de normas de protección.

Figura 6

Ejecutando la rehabilitación



2.3.5 Validación de resultados

Finalmente, se realizaron pruebas comparativas entre el estado inicial y el estado final de la máquina, registrando mejoras en:

- La precisión del curvado de chapas.
- La reducción de ruidos y vibraciones.
- El control de la velocidad de operación.
- La seguridad de los operadores.

Con ello se validó que la rehabilitación cumplió con los objetivos planteados y que la máquina podía ser utilizada de manera confiable en los procesos de enseñanza e investigación.

Capítulo 3

3.1 Resultados y Análisis

En esta parte del proyecto se mostrará los resultados obtenidos y se llegó al análisis que el proceso de rehabilitación de la máquina cilindradora de chapas permitió alcanzar logros significativos tanto en el aspecto técnico como en el académico y de seguridad. Durante la fase de diagnóstico inicial se diagnosticaron fallas críticas en los sistemas eléctrico, mecánico y de seguridad que comprometían la operatividad de la máquina. Entre ellas destacaban cableado deteriorado, ausencia de gabinete eléctrico, rodillos con corrosión, engranes sin protección y tornillos de regulación en mal estado.

Sistema eléctrico renovado

- Instalación de un gabinete eléctrico nuevo
- Sustitución del cableado con un rollo N.º 8 de 7 hilos
- Corrección de cortocircuitos y rediseño del circuito

Mantenimiento mecánico completo

- Limpieza, lijado y lubricación de rodillos y engranes con grasa a base de agua.
- Recuperación de la funcionalidad de los tornillos de regulación, eliminando corrosión y garantizando un ajuste suave.
- Eliminación de ruidos y vibraciones durante el proceso de curvado

Mejoras en seguridad

- Fabricación e instalación de protección metálica galvanizada en los engranes para prevenir atrapamientos.
- Pintura anticorrosiva de la máquina con un acabado plateado que protege la superficie y mejora la apariencia estética.

Operatividad validada

- La máquina demostró capacidad para doblar planchas metálicas de hasta 3 mm de espesor.
- Se verificó la precisión del cilindrado, la reducción de tiempos de operación y el incremento en la seguridad de uso.

Tabla 4

Comparativa antes y después de la rehabilitación del sistema eléctrico de la cilindradora del CDTS

Sistema Eléctrico	
Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación
Gabinete incompleto y mal estado	Se colocó un gabinete nuevo
Cables en mal estado	Se cableó todo el sistema con rollo N.º 8
Se diagnosticó un corto	Se instaló un circuito nuevo

Figura 7

Sistema eléctrico anterior



Figura 8

Sistema eléctrico restaurado

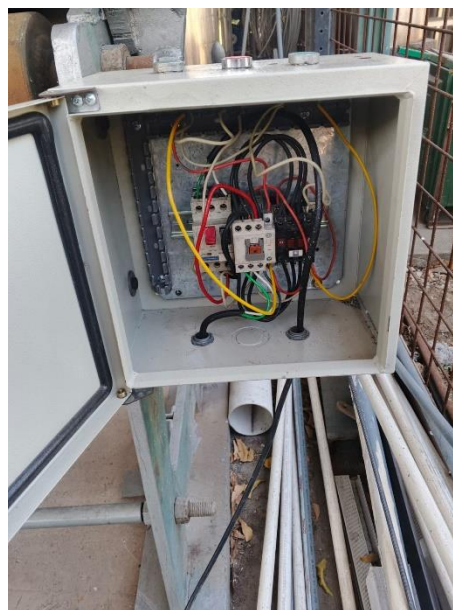


Tabla 5

Comparativa antes y después de la rehabilitación de los tornillos de regulación de la cilindradora del CDTs

Tornillos de regulación	
Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación
Se encontraban con polvo y suciedad	Limpios con wiper
Presentaban corrosión	Sin óxido
Estaban sin lubricación	Lubricados con grasa a base de agua

Figura 9

Tornillos antes del mantenimiento



Figura 10

Tornillos después del mantenimiento



Figura 11

Lubricante que se utilizó para el mantenimiento de los tornillos



Tabla 6

Comparativa antes y después de la rehabilitación de los rodillos de la cilindradora del CDTs

Rodillos y Engranes	
Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación
Se encontraban con polvo y secos	Limpiados con wiper
Presentaban corrosión	Lijados y sin óxidos
Estaban sin lubricación	lubricados con grasa a base de agua

Figura 12

Rodillos antes del mantenimiento



Figura 13

Rodillos lubricados y operativos



Figura 14

Rodillos listos para operar



Figura 15

Engranes antes y después del mantenimiento



Tabla 7

Comparativa antes y después de la rehabilitación de la protección en los engranes

Protección	
Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación
Los engranes no tenían protección, es decir estaban descubiertos. Debido a esto puede causar atrapamiento, peligrando la seguridad del operador.	Se fabricó la protección de los engranes con una viga metálica galvanizada, utilizando las medidas específicas para su correcta instalación.

Figura 16

Proceso de la fabricación de la protección de los engranes



Figura 17

Antes y después del pintado de la máquina cilindradora del CDTs



En este proceso se utilizó pintura anticorrosiva color plateado, se consumió medio galón en el pintado con un tiempo de trabajo de 4 horas entre pintado y secado.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

Los resultados evidencian que la rehabilitación devolvió a la cilindradora condiciones óptimas para cumplir funciones académicas y de aprendizaje, aportando un equipo confiable, seguro y sustentable para el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS).

4.1.1 Conclusiones

- La rehabilitación permitió recuperar la operatividad y funcionalidad integral de la máquina cilindradora, garantizando su disponibilidad para prácticas académicas, proyectos de investigación y servicios tecnológicos.
- El proyecto demostró que la recuperación de equipos existentes es más eficiente y sostenible que la compra de nueva maquinaria, al optimizar recursos económicos y reducir el impacto ambiental.
- El proceso de rehabilitación evidenció la importancia del mantenimiento preventivo y correctivo como estrategia fundamental para prolongar la vida útil de los equipos industriales
- Con la implementación de medidas de seguridad, la máquina cumple con parámetros básicos de protección al operador, reduciendo riesgos de accidentes en el laboratorio.
- Se fortaleció la formación práctica de los estudiantes de mecatrónica y áreas afines, ya que la máquina rehabilitada se convierte en un recurso didáctico que promueve el aprendizaje aplicado.
- La experiencia adquirida en este proyecto constituye una referencia metodológica para futuros procesos de rehabilitación de equipos, tanto en el ámbito académico como en el industrial.

4.1.2 Recomendaciones

Tras la rehabilitación de la máquina cilindradora se sugiere implementar acciones que garantizará un mayor tiempo de vida útil, reducirá el riesgo de fallas inesperadas y permitirá un funcionamiento eficiente y seguro, como:

- Establecer un cronograma semestral de inspección, limpieza, lubricación y ajustes, que garantice la conservación del equipo en condiciones óptimas
- Capacitar periódicamente a estudiantes y docentes en el uso seguro y eficiente de la cilindradora, reforzando prácticas de operación y normas de seguridad industrial.
- Implementar registros técnicos que documenten el estado del sistema eléctrico, rodillos, engranes y tornillos, para anticipar fallas y planificar intervenciones oportunas.
- Considerar, a mediano plazo, la incorporación de tecnología de control digital (variadores de frecuencia o CNC básico) para incrementar la precisión y versatilidad de la máquina.
- Mantener el uso de recubrimientos anticorrosivos y lubricantes de bajo impacto ambiental, alineando el mantenimiento de la máquina con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Promover la publicación de este proyecto como caso de éxito académico, compartiendo los resultados en jornadas técnicas o congresos, lo que permitirá fortalecer el prestigio institucional del CDTS y de la ESPOL.

Referencias

WWW

Bendmak. (2020). *Rolling machines retrofit solutions*. Bendmak Technical Reports.

CENELEC. (2014). *Guide to the application of the Machinery Directive 2006/42/EC*.

Brussels.

García, R., & Muñoz, L. (2017). *Estudio de desgaste en rodillos de máquinas conformadoras*. Revista de Ingeniería Mecánica, 12(2), 45-58.

ISO. (2010). *ISO 12100: Safety of machinery – General principles for design*. International Organization for Standardization.

Krause, T. (2019). *Sheet metal forming processes*. Springer.

Liu, X., Zhang, H., & Wang, J. (2016). Modernization of rolling machines through electrical retrofitting. *Journal of Manufacturing Systems*, 41(3), 25-33.

Mohan, R., Gupta, A., & Singh, P. (2014). *Retrofit strategies for industrial equipment*. Journal of Mechanical Engineering Research, 8(1), 10-20.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Productivity Press.

Reyes, J., & Molina, A. (2018). *Máquinas de conformado de láminas metálicas: principios y aplicaciones*. Editorial Académica Española.

Sánchez, F. (1993). *Diseño de una máquina cilindradora y curvadora de chapas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Siemens. (2015). *Drive modernization for rolling mills*. Siemens AG Technical Report.