DISEÑO DE ALMACENADOR Y DISPENSADOR DE RODILLOS LITOGRÁFICOS.

Rodrigo Sánchez Gómez

Informe de prácticas presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Seleccione tipo de orientador

Carlos Alberto Mejía Blandón, Magíster (MSc) en Ingeniería Mecánica.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Referencia	Sánchez Gómez, R (2025). Diseño de almacenador y dispensador de rodillos litográficos. [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	

creative commons BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes, con su amor incondicional y su apoyo constante, me ayudaron a superar los momentos más difíciles de este camino. Ellas, porque sí, son ellas, son la fuerza y el combustible que mantienen en marcha este motor.

Gracias también a los grandes amigos que esta hermosa y desafiante carrera me ha dejado, compañeros de batalla que hicieron este viaje aún más especial. Extiendo mi gratitud a los profesores, de quienes aprendí valiosas lecciones y con quienes compartí momentos de angustia, satisfacción, tristeza y, sobre todo, esfuerzo.

Hubo momentos en los que pensé que este día nunca llegaría, pero aquí está. Hoy, con orgullo y emoción, puedo decir: ¡soy ingeniero mecánico de la mejor universidad del mundo!

Todo es posible cuando se hacen amor y pasión.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al profesor Carlos Alberto Mejía Blandón, quien fue un apoyo fundamental, tanto durante su asignatura como en el acompañamiento en mis prácticas laborales.

También agradezco profundamente a la empresa Prodenvases SAS, por abrirme sus puertas y permitirme realizar mi semestre de industria en sus instalaciones. A ellos, mil gracias por recibirme y brindarme su apoyo a lo largo de este proceso.

Tabla de contenido

Resumen 10

Abstract 11

1. Introducción 12

1.1.Planteamiento del problema. 13

2. Objetivos 14

2.1. Objetivo general. 14

2.1.1. Objetivos Específicos. *14*

3. Marco teórico. 15

3.1. Almacenamiento y Gestión de Inventarios. 15

3.2. Ergonomía y Seguridad Laboral. 16

3.3. Automatización en el Control de Inventarios. 17

4. Metodología. 18

4.1. Evaluación Cualitativa 18

4.2. Evaluación Cuantitativa 18

5. Fases del Proyecto. 21

5.1. Identificación del Problema: 21

5.2. Disposición locativa. 22

5.3. Diseño preliminar del almacenador. 23

5.4. Restricciones del diseño. 25

5.4.1. Sistema de transmisión de potencia. *25*

5.4.2. Sistema de soporte para los rodillos. *27*

5.4.3. Método de sujeción de los rodillos litográficos. *29*

5.4.4. Carga total del sistema. *30*

5.4.5. Cálculos de la estructura. *33*

5.4.6. Selección del motor..... *36*

5.4.7. Selección de cadenas y engranajes. *37*

5.5. Automatización del sistema. 40

5.5.1. Generación de los bloques del sistema. *40*

5.5.2. Interfaz del HMI. *42*

5.5.3. Perfiles de acceso al sistema. *43*

5.5.4. Clasificación de los rodillos litográficos..... *44*

5.5.5. Registros y alarmas del sistema. *45*

5.6. Diseño del almacenador y dispensador de rodillos litográficos..... *46*

6. Análisis de resultados. 49

7. Conclusiones y recomendaciones..... 50

Referencias 51

Lista de tablas

Tabla 1 Evaluación de posibilidades de diseño. 24

Tabla 2 Evaluación de alternativas de sujeción para los rodillos.....30

Lista de figuras

Figura 1. Condiciones de almacenaje actual. 15
Figura 2. Condiciones ergonómicas 16
Figura 3. Almacenamiento actual 21
Figura 4. Condiciones locativas de la empresa. 22
Figura 5. Posibilidades de diseño, para el almacenador de rodillos. 23
Figura 6. Soporte de los rodillos 28
Figura 7. Métodos de sujeción para los rodillos litográficos. 29
Figura 8. Simulación de peso 32
Figura 9. Simulación de flexión de la estructura 35
Figura 10. Sujeción de las varillas de soporte a la cadena. 39
Figura 11. Bloques del sistema. 41
Figura 12. Segmentos del sistema. 41
Figura 13. Interfaz del HMI. 42
Figura 14. Ingreso al perfil de supervisor (requiere contraseña). 43
Figura 15. Clasificación por prensas litográficas. 44
Figura 16. Alarmas del sistema por manipulación de los rodillos. 45
Figura 17. Clasificación por prensas litograficas. 46
Figura 18. Diseño del almacenador y dispensador de rodillos litográficos. 47
Figura 19. Cubierta modular. 48

Siglas, acrónimos y abreviaturas

cm	Centímetros
kg	Kilogramos
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo
MSc	Magister Scientiae
m	Metros
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema para almacenar y catalogar los rodillos litográficos en Prodenvases SAS¸ una empresa especializada en la fabricación de envases metálicos¸ donde es fundamental el proceso de impresión en láminas metálicas en cuatro máquinas litográficas (Mailander¸ Hoe¸ y dos en tandem). En la actualidad¸ Prodenvases gestiona un stock de 136 rodillos que se mueven entre almacenamiento¸ uso y reparación; sin embargo¸ carece de un sistema automatizado de clasificación y se enfrenta al riesgo ergonómico debido al manejo manual.

El enfoque de trabajo abarcó un minucioso examen de las circunstancias presentes en el depósito mediante la observación directa y cuestionarios dirigidos al personal empleado; junto al desarrollo de un sistema de almacenamiento renovado respaldado por herramientas de diseño CAD y fundamentado en estándares ergonómicos de seguridad como la normativa ISO 11228-1.

Se prevé que los resultados deseados comprendan una optimización del espacio de almacenamiento y mejoras en la organización y clasificación de los rodillos para reducir los riesgos laborales y aumentar la eficiencia de la producción al evitar tiempos improductivos.

En resumen, la introducción de este nuevo sistema no solo potenciará la eficiencia y disponibilidad de los rodillos, sino que también fomentará un entorno laboral más seguro y eficiente en Prodenvases SAS.

Palabras clave: Almacenamiento, Clasificación, Ergonomía, Automatización, Rediseño, SST.

Abstract

The purpose of this project is to develop a system for storing and cataloging lithographic rollers at Prodenvases SAS, a company specializing in the production of metal containers, where are essential for the printing process on metal sheets across four lithographic machines (Mailander, Hoe, and two Tandem). Currently, Prodenvases manages a stock of 136 rollers that rotate between storage, use, and repair. However, the company lacks an automated classification system and faces ergonomic risks due to manual handling.

The work approach involved a thorough examination of the current conditions in the storage area through direct observation and questionnaires directed at the staff, along with the development of a renewed storage system supported by CAD design tools and based on ergonomic safety standards such as ISO 11228-1.

The expected outcomes include optimizing storage space and improving the organization and classification of rollers to reduce occupational risks and increase production efficiency by avoiding downtime. In summary, the implementation of this new system will not only enhance the efficiency and availability of the rollers but also promote a safer and more efficient work environment at Prodenvases SAS.

Keywords: *Storage, Classification, Ergonomics, Automation, Redesign, Occupational Health, and Safety (OHS).*

1. Introducción

El presente trabajo se realizó en Prodenvases SAS[1], una empresa que forma parte del grupo Comeca y cuenta con más de 30 años de experiencia en el sector de empaques. En la compañía se producen envases metálicos y plásticos como producción principal. En el proceso de fabricación de envases metálicos, la etapa de litografía es clave, ya que permite la impresión de diseños gráficos sobre las láminas metálicas mediante el uso de rodillos litográficos. Este proceso se lleva a cabo en cuatro máquinas distintas: Mailander, Hoe, y dos en tandem (Epic Hoe y Epic Crabtree), cada una con requerimientos específicos en cuanto al uso de rodillos.

Los rodillos litográficos son componentes fundamentales para garantizar la calidad en la impresión, ya que aseguran la aplicación uniforme de la tinta sobre las láminas metálicas. Sin embargo, Prodenvases enfrenta varios desafíos relacionados con la gestión, almacenamiento y disponibilidad de estos rodillos. Actualmente, se manejan alrededor de 136 rodillos que rotan entre almacenamiento, uso y reparación. Los sistemas de almacenamiento de rodillos actuales son básicos y dependen mucho de procesos manuales. Esto provoca la falta de control en los inventarios y aumenta la posibilidad de tiempos de inactividad en la producción. Además, la disposición del almacén obliga a los trabajadores a mover los rodillos manualmente, lo que, puede ocasionar lesiones, especialmente por el diseño de los estantes y la escasez de espacio en los pasillos.

La ergonomía juega un papel crucial en la ingeniería actual. El proyecto pretende, en su fase final, desarrollar un almacenador con soportes adaptados a todos los rodillos y que permita retirar e ingresar los rodillos en la misma posición, buscando minimizar los riesgos de accidentes y posibles lesiones. Esta decisión ayuda a reducir las pérdidas económicas y a proteger la salud de los operarios.

[1] Empresa – Prodenvases SAS (s.f) https://prodenvases.com.co

1.1. Planteamiento del problema.

Prodenvases SAS es una empresa dedicada a la fabricación de envases metálicos, donde las prensas litográficas desempeñan un papel crucial en el proceso de impresión de las láminas metálicas. En este proceso, los rodillos litográficos son esenciales para la transferencia de tinta a las láminas. Actualmente, el almacenamiento de estos rodillos se realiza de manera manual, lo que representa una oportunidad significativa para optimizar aspectos clave como la ergonomía, la organización, la clasificación y el control eficiente de inventarios. Estos factores afectan la seguridad de los empleados, sino también el desempeño de la empresa.

El objetivo de este proyecto es diseñar un almacenador y dispensador de rodillos litográficos que optimice los aspectos clave identificados previamente. Se busca mejorar la disposición de los rodillos mediante la implementación de un sistema autónomo con movimiento mecánico, que asegure su extracción en una posición segura para los trabajadores. Además, se pretende desarrollar la automatización del sistema para eliminar los tiempos improductivos generados por manipulaciones no registradas, logrando una gestión más eficiente y precisa del almacenamiento y manejo de los rodillos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general.

Diseñar y optimizar el sistema de almacenamiento y clasificación de rodillos de litografía en Prodenvases SAS, mejorando la disposición del espacio, automatizando el control de inventarios y aumentando la seguridad y ergonomía para los trabajadores.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Evaluar las características actuales de los sistemas de almacenamiento y la disposición de los rodillos para identificar las limitaciones de espacio, accesibilidad y seguridad en la planta.
- Realizar el diseño de las estanterías para maximizar el uso del espacio disponible y facilitar el almacenamiento, implementando un sistema de movimiento mecánico que permita un acceso más eficiente a los rodillos.
- Diseñar la ubicación de las estanterías mejorando la movilidad y el flujo en los pasillos circundantes, permitiendo un acceso rápido y seguro a los rodillos en el área de trabajo.
- Diseñar un sistema automatizado de control de inventarios que registre la disponibilidad y el seguimiento de los rodillos, mejorando la gestión de stock y reduciendo los tiempos muertos en la producción.
- Incorporar mejoras ergonómicas en el diseño del almacenamiento, reduciendo la manipulación manual y las cargas físicas de los trabajadores, para disminuir el riesgo de lesiones laborales y aumentar la eficiencia operativa.

3. Marco teórico.

En el diseño de un sistema de almacenamiento y clasificación de rodillos de litografía para la empresa Prodenvases SAS, es fundamental integrar conceptos teóricos sobre almacenamiento, logística, ergonomía y automatización. Estos aspectos proporcionan un contexto detallado y fundamento técnico que sustenta la propuesta.

3.1. Almacenamiento y Gestión de Inventarios.

El almacenamiento es un componente clave en la industria. Ballou (2004) define la gestión de inventarios como un conjunto de prácticas encaminadas a garantizar la disponibilidad de materiales cuando se necesitan y a reducir costos. En el caso de Prodenvases SAS, existe un stock de rodillos los cuales deben estar listos para cada turno de producción, lo que requiere de una adecuada gestión y un correcto sistema de clasificación para evitar tiempos muertos que puedan afectar la eficiencia operativa. Según Lambert (2006), el diseño del almacén debe centrarse en maximizar la utilización del espacio y facilitar la movilidad, lo cual es cierto en este trabajo, donde se identificaron espacios limitados y la necesidad de reorganización durante la investigación inicial (Figura 1).

Figura 1

Condiciones de almacenaje actual.



Nota. La figura muestra el poco espacio de los pasillos aledaños.

3.2. Ergonomía y Seguridad Laboral.

La ergonomía es un aspecto importante a la hora de realizar un diseño de sistemas de almacenamiento, ya que busca reducir los riesgos producidos por la manipulación manual de cargas. La norma ISO 11228-1 (ISO, 2003) establece normas para regular el peso y la altura de levantamiento de cargas. Esta normativa es particularmente relevante en el caso de Prodenvases SAS, donde los trabajadores manipulan manualmente los rodillos de litografía en un entorno de alta rotación (figura 2). Según la ISO (2003), el diseño ergonómico debe considerar la disposición de los materiales y el espacio y la organización del entorno de trabajo para evitar posturas incómodas y reducir el riesgo de lesiones, alineado con el objetivo de este proyecto de mejorar las condiciones físicas de los operarios.

Figura 2

Condiciones ergonómicas



Nota. La figura muestra el poco espacio entre estanterías contiguas y pasillos.

3.3. Automatización en el Control de Inventarios.

La automatización permite una gestión más eficiente y exacta de los inventarios, especialmente en operaciones que requieren precisión y velocidad (Choi, Wallace, & Wang, 2016). En el contexto de Prodenvases SAS, implementar un sistema automatizado de clasificación y registro de rodillos podría optimizar el control de disponibilidad, proporcionando una visión en tiempo real del inventario. Según Choi et al. (2016), la automatización reduce la dependencia en el control manual y aumenta la precisión en el seguimiento de los materiales, lo que es fundamental en un proceso de alta demanda como el de Prodenvases, donde cada turno de producción requiere rodillos específicos en condiciones adecuadas.

3.4. Tecnologías de Almacenamiento para Rodillos.

El diseño de sistemas de almacenamiento requiere considerar factores importantes como son: características de los rodillos, limitaciones del espacio, cantidad de rodillos para almacenar, etc. La literatura sugiere que las estanterías con movimiento mecánico pueden aumentar la eficiencia en la utilización del espacio y mejorar la accesibilidad al inventario (Ballou, 2004). En este sentido, el rediseño propuesto en este trabajo busca implementar estanterías que permitan el acceso rápido a los rodillos y mejoren el flujo dentro del área de almacenamiento, lo cual impacta directamente en la productividad de la empresa.

4. Metodología.

Enfoque: Mixto (cualitativo y cuantitativo).

4.1. Evaluación Cualitativa

- **Espacio para la manipulación de los rodillos:** Se observó que el espacio disponible para manejar los rodillos es limitado, lo que dificulta el trabajo eficiente y seguro.
- **Levantamiento de cargas:** Algunos de los rodillos deben ser levantados desde alturas muy bajas, lo que incrementa el riesgo de lesiones en la espalda y otras afecciones musculoesqueléticas.
- **Manipulación de cargas:** El peso de los rodillos, combinado con las posturas inadecuadas en la manipulación, aumenta el esfuerzo físico para los trabajadores.
- **Espacio de circulación:** Los pasillos tienen un ancho promedio de solo 40 cm, lo que incumple la normativa ISO (2003), que recomienda un mínimo de 80 cm para garantizar una movilidad segura y eficiente.
- **Puntas de los espigos expuestos:** Los rodillos almacenados transversalmente dejan expuestas las puntas de los espigos, lo que constituye un riesgo significativo de accidentes para el personal que circula cerca (Figura 2).

Estos hallazgos son fundamentales para proponer un diseño de almacenamiento que cumpla con estándares ergonómicos y de seguridad, optimizando tanto las condiciones laborales como la eficiencia operativa.

4.2. Evaluación Cuantitativa

Un rodillo litográfico debe cumplir con criterios específicos para su correcto funcionamiento, como la dureza superficial del compuesto, el acabado superficial y el diámetro exterior. Estos parámetros se deterioran con el uso continuo en las máquinas, lo que hace necesario rectificar y/o reencauchar los rodillos para reintegrarlos a su ciclo de operación. Para asegurar su

disponibilidad en los recambios, es fundamental disponer de un sistema de almacenamiento eficiente y organizado.

Por el desgaste y la necesidad de mantenimiento, es imprescindible implementar un sistema de inventario automático que registre los movimientos de los rodillos al retirarlos del almacenamiento. Esto permitiría identificar rápidamente las necesidades de reparación, agilizar los procesos de refacción y asegurar una reposición oportuna.

Actualmente, los tiempos de acceso y disponibilidad de los rodillos se ven afectados por la ausencia de un sistema de inventario autónomo, lo que impacta negativamente la operatividad de la empresa. Dado que esta ópera durante todo el año con tres turnos laborales, y los rodillos son de constante rotación, la gestión manual a demanda genera ineficiencias, retrasos y un mayor riesgo de interrupciones en el proceso productivo.

- **Tiempos de acceso y manipulación:** Actualmente, los tiempos de acceso a los rodillos son relativamente cortos (2 a 3 minutos), ya que están ubicados de manera accesible. Sin embargo, esta facilidad puede verse afectada por la saturación del espacio, por la falta de un sistema organizado que permita visualizar la disponibilidad de los rodillos, que priorice la ergonomía y SST.
- **Frecuencia de mantenimiento:** La frecuencia de mantenimiento de los rodillos no está establecida de manera regular, ya que depende de múltiples factores como el desgaste del compuesto, la geometría de las láminas procesadas, la presencia de contaminantes externos y las condiciones operativas de las máquinas. Esto dificulta una planificación eficiente del mantenimiento y reparación.
- **Capacidad de almacenamiento actual:** El sistema tiene capacidad para 136 rodillos correspondientes a las diferentes litografías de la compañía. Sin embargo, esta capacidad está completamente ocupada, lo que genera un problema crítico, especialmente ante el proyecto de instalación de una nueva litografía, que incrementará la demanda de espacio para rodillos adicionales.
- **Espacio de pasillos:** El espacio disponible en los pasillos de la zona de almacenamiento es de apenas 40 cm, lo cual dificulta el desplazamiento seguro y eficiente del personal. Este factor representa un incumplimiento de los estándares de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y de la normativa ISO, lo que aumenta el riesgo de accidentes laborales.

- **Rotación de rodillos:** Aunque la rotación de rodillos es relativamente baja, es fundamental garantizar su disponibilidad inmediata para evitar interrupciones en los procesos productivos, especialmente considerando la naturaleza crítica de estos componentes en las operaciones de litografía.
- **Tasa de accidentes:** Aunque la tasa actual de accidentes relacionados con el almacenamiento y manipulación de rodillos fue relativamente baja (4 accidentes por levantamientos de cargas en el año 2023 y de 3 en el año 2022) persiste un riesgo significativo debido a las condiciones actuales del espacio, la disposición de los rodillos y la exposición de los espigos.
- **Proyecciones de mejora:** El nuevo diseño proyectado busca optimizar todos los factores mencionados. Se espera mejorar la accesibilidad y manipulación, establecer una frecuencia de mantenimiento más predecible, aumentar la capacidad de almacenamiento, ampliar los pasillos para cumplir con las normas de SST, garantizar una rotación eficiente y reducir aún más la tasa de accidentes, minimizando así los riesgos latentes.

5. Fases del Proyecto.

5.1. Identificación del Problema:

En la evaluación del sistema de almacenamiento actual, se cuentan con 6 estanterías de doble almacenamiento (frente y posterior) y una estantería de almacenamiento en la cara frontal. El espacio ocupado por dichas estanterías actualmente es de 5 metros de ancho, 2 metros de profundidad y 2 metros de alto. Con estas estanterías se pueden tener almacenados 136 rodillos de litografía figura 3.

Figura 3

Almacenamiento actual



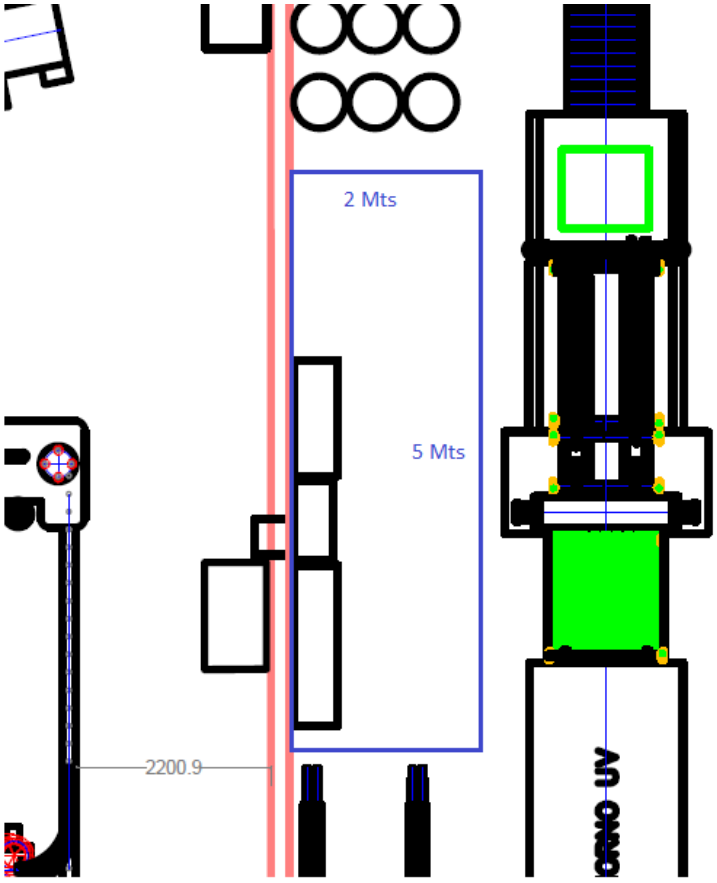
Según estos aspectos, se plantea el diseño de un nuevo sistema de almacenamiento que optimice el espacio disponible y garantice condiciones seguras y ergonómicas, protegiendo al personal de la empresa ante posibles accidentes laborales.

5.2. Disposición locativa.

Primero, es fundamental definir el espacio asignado para instalar el sistema de almacenamiento en la empresa, para optimizar su uso y maximizar la capacidad del diseño propuesto. En la Figura 4 se muestra una sección del plano de la planta de Prodenvases, donde se destaca el área asignada para la instalación del nuevo sistema de almacenamiento mediante un rectángulo azul.

Figura 4

Condiciones locativas de la empresa.



Nota. El rectángulo azul, representa la posición actual y de futura instalación (plano locativo Prodenvases SAS.

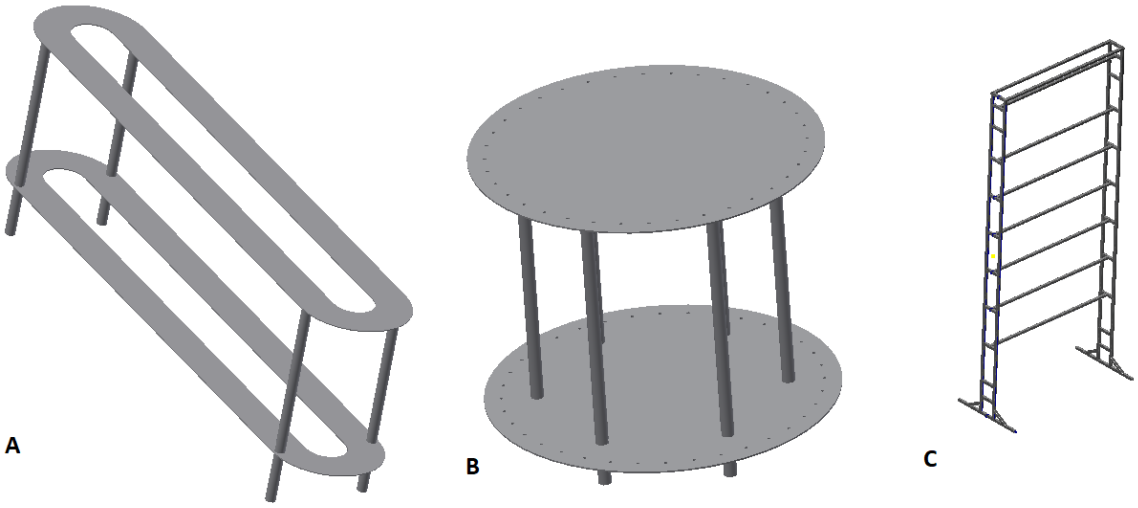
Este espacio corresponde al utilizado actualmente, y aunque presenta limitaciones físicas que impiden su ampliación lateral o la implementación de sistemas con geometrías diferentes, se buscará optimizar la capacidad de almacenaje.

5.3. Diseño preliminar del almacenador.

Se plantean tres posibilidades de diseños diferentes de sistemas de almacenamiento para abordar y mejorar los problemas identificados. En la Figura 5 se representan tres tipos de almacenadores, de los cuales se evaluó las ventajas y desventajas para su implementación.

Figura 5

Posibilidades de diseño, para el almacenador de rodillos.



Nota. A) Almacenador horizontal, B) Almacenador circular y C) Almacenador vertical.

Ahora es necesario realizar una evaluación para las tres propuestas de diseño considerando criterios clave como capacidad de almacenamiento, ergonomía, espacio requerido (en términos de área y altura) y versatilidad para almacenar diferentes referencias de rodillos. Este análisis permitirá seleccionar la alternativa más adecuada para satisfacer las necesidades operativas y ajustarse a las condiciones actuales de la empresa.

Propuesta A:

Sistema de almacenamiento de traslación horizontal, donde los rodillos se almacenan de forma vertical utilizando soportes que permiten su desplazamiento lateral.

Ventajas: Se facilita el acceso a los rodillos, es sencillo de implementar teniendo espacios amplios.

Desventajas: Se requiere un área amplia en términos de ancho, lo que limita su aplicación en espacios reducidos. Además, no se mejora las posiciones para el levantamiento de cargas.

Propuesta B:

Sistema de almacenamiento circular tipo carrusel, con rodillos almacenados verticalmente que se trasladan en un movimiento circular.

Ventajas: Optimiza el espacio en planta, ya que su disposición circular permite mayor densidad de almacenamiento.

Desventajas: Complejidad mecánica, mayor costo de implementación debido al diseño especializado y requerimiento de espacio por su geometría.

Propuesta C:

Es un sistema de almacenamiento en vertical, donde los rodillos se colocan horizontalmente en soportes estandarizados diseñados para ser posicionados a diferentes tipos de rodillos.

Ventajas:

Mejora la capacidad de almacenamiento aprovechando la altura disponible, mejora la ergonomía al reducir esfuerzos físicos en la manipulación de los rodillos, es compatible con todas las referencias gracias a soportes estandarizados.

Desventajas: Puede requerir sistemas adicionales, como cadenas o poleas, para garantizar la accesibilidad en la altura máxima.

Tabla 1

Evaluación de posibilidades de diseño.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
CAPACIDAD ALMACENAJE	30%	8	2,4	6	1,8	9	2,7
ERGONOMIA	30%	5	1,5	5	1,5	10	3
ESPACIO REQUERIDO (ALTURA)	15%	8	1,2	8	1,2	5	0,75
ESPACIO REQUERIDO (AREA)	15%	8	1,2	8	1,2	8	1,2
VERSATILIDAD	10%	5	0,5	4	0,4	8	0,8
PONDERACIÓN TOTAL	100%	6,8		6,1		8,45	

Nota. La evaluación tiene calificaciones de 0 a 10.

La evaluación de las propuestas de diseño para el sistema de almacenamiento determinó que la mejor opción es la alternativa C, debido a su puntuación más alta en la ponderación de criterios clave. Este resultado destaca principalmente por su desempeño superior en aspectos como capacidad de almacenamiento y ergonomía, superando significativamente a las otras alternativas.

En contraste, las alternativas A y B no presentan mejoras significativas frente al sistema actual, limitando su viabilidad como solución a los problemas identificados. La alternativa C, sin embargo, se consolida como una solución integral, ya que optimiza el espacio disponible, facilita la manipulación de los rodillos y satisface de manera más efectiva las necesidades operativas de la empresa.

5.4. Restricciones del diseño.

Antes de iniciar el proceso de diseño, es fundamental evaluar las restricciones que podrían surgir durante su desarrollo. Estas restricciones pueden influir en las decisiones de diseño y en la implementación del sistema de almacenamiento. Entre las principales identificadas se encuentran:

5.4.1. Sistema de transmisión de potencia.

El diseño de un almacenador vertical de 5,3 m de altura total el cual requiere un sistema de transmisión de potencia confiable y eficiente para garantizar el movimiento preciso y seguro de los rodillos. A continuación, se evalúan las opciones y se justifica la selección del sistema más adecuado:

Opciones de Transmisión:

- **Sistema de transmisión por correa.**

  Ventajas:

  Bajo costo, operación silenciosa, fácil mantenimiento.

  Desventajas:

  No es adecuado para cargas pesadas debido al posible deslizamiento, lo que podría comprometer la precisión y la seguridad del sistema.

- **Sistema de transmisión por engranajes.**

  Ventajas:

  Alta precisión, capacidad para manejar cargas pesadas, sin deslizamiento.

  Desventajas:

  Costo elevado, requiere lubricación constante y puede generar ruido durante la operación.

- **Sistema de transmisión por cadena.**

  Ventajas:

  Alta resistencia y durabilidad, ideal para aplicaciones de cargas pesadas.

  Transmisión precisa sin deslizamiento.

  Mantenimiento relativamente bajo comparado con los engranajes.

  Desventajas:

  Requiere un correcto tensado para evitar desgaste y ruido.

Selección del Sistema.

Basados en las necesidades del diseño del almacenador vertical, como manejar cargas pesadas (rodillos litográficos), garantizar un movimiento preciso y ser seguro para los operadores, se selecciona el sistema de transmisión por cadena como la opción más adecuada.

Justificación de la Selección

Durabilidad y robustez: La cadena puede soportar las cargas dinámicas generadas al desplazar los rodillos hacia diferentes alturas.

Compatibilidad: Este sistema permite el diseño de un mecanismo confiable que puede integrarse con ejes y soportes, adaptándose a las dimensiones específicas del almacenador.

Costo-beneficio: Aunque no es la opción más económica, el equilibrio entre durabilidad, bajo mantenimiento y rendimiento lo convierte en una solución rentable a largo plazo.

Seguridad: Su diseño reduce el riesgo de fallos, como el deslizamiento, lo que garantiza la integridad del sistema y la seguridad de los operadores.

5.4.2. Sistema de soporte para los rodillos.

El sistema de almacenamiento está diseñado para manejar rodillos correspondientes a cuatro litografías diferentes, cada una con bandejas de rodillos de geometrías variadas. Esta diversidad representa un desafío importante para el diseño, ya que se requiere planificar un sistema de sujeción universal que sea compatible con todas las configuraciones.

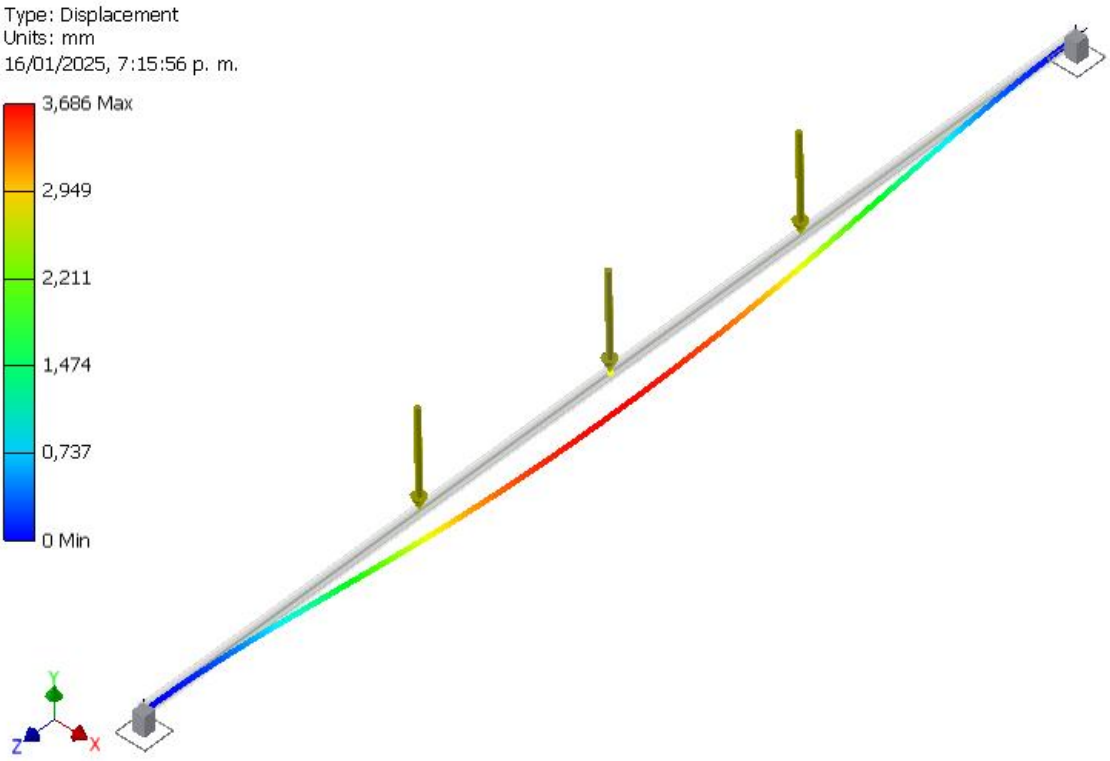
Para superar este reto, se propone transmitir el movimiento generado por la cadena a un eje, el cual estará anclado a las cadenas mediante tornillos. Este diseño busca garantizar la estabilidad y funcionalidad para los diferentes rodillos sin necesidad de ajustes adicionales por cada tipo de rodillo.

En términos generales, la mayoría de los rodillos litográficos poseen pesos similares, estos están entre los 15 a 25 kilogramos, pero se tiene unos casos especiales, que son los rodillos formadores de la prensa Mailander, los cuales pesan alrededor de 45 kilogramos

Como el sistema de anclaje se utilizará para todos los rodillos, se evaluará su capacidad mediante simulaciones de flexión, realizadas mediante el software Autodesk Inventor. Estas pruebas se llevarán a cabo utilizando la carga correspondiente al rodillo más pesado de la batería, el rodillo formador de la litografía Mailander, para garantizar que el sistema pueda soportar las condiciones más exigentes de operación. La simulación presentada en la figura 6 se realizó para una viga circular de ¾ de pulgada de diámetro (19.05 mm) y con las cargas distribuidas por el peso del rodillo y la gravedad.

Figura 6

Soporte de los rodillos



Nota. Simulación de la flexión generada en el soporte del rodillo, debido al peso.

Según la norma (AISC – Acero) El AISC Steel Construction Manual sugiere las siguientes proporciones para la flexión permisible en elementos estructurales de acero:

$\frac{L}{480}$ Para elementos más rígidos, como los valores máximos de flexión, el cual para nuestra longitud seria:

$$\frac{L}{480} = \frac{2600\ mm}{480} = 5{,}41mm => Valor\ maximo\ de\ flexión\ permitido.$$

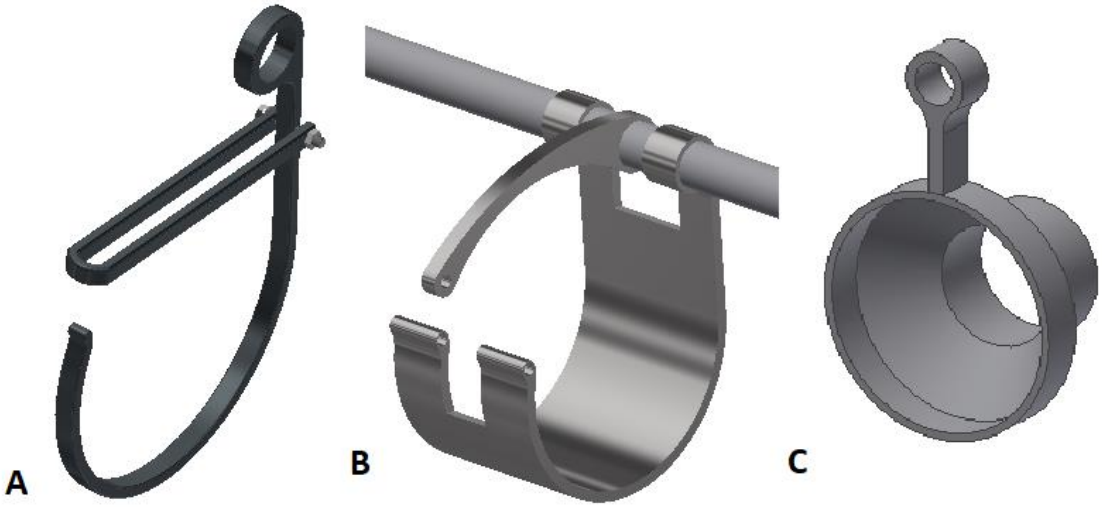
En la figura 6 se muestra la simulación realizada a la viga circular, la cual se encuentra sometida a la carga máxima del sistema (rodillo formador Mailander) y se evidencia que su flexión máxima es de 3,68 mm, encontrándose por debajo del valor máximo permitido, con lo cual se determina que el tipo de varilla es adecuada para la soportar los rodillos.

5.4.3. Método de sujeción de los rodillos litográficos.

Se plantean tres posibles métodos de sujeción para los rodillos, considerando que se trata de un sistema en movimiento, donde es esencial garantizar su correcta posición y fijación en todo momento. Durante el diseño de estos métodos de sujeción, se deben tener en cuenta factores claves, como: geometría de los rodillos, método de fijación, cargas a soportar. En la figura 7 se muestra las imágenes de los tres diseños propuestos.

Figura 7

Métodos de sujeción para los rodillos litográficos.



Nota. Métodos de sujeción para los rodillos litográficos.

En la Tabla 2 se presenta un análisis detallado de las tres propuestas de diseño (Figura 6), considerando los siguientes criterios clave:

- **Versatilidad:** Es la capacidad de adaptación del sistema a las diferentes geometrías y tamaños de los rodillos, asegurando que sea funcional para todas las referencias existentes.
- **Rigidez:** Evalúa la resistencia estructural del sistema al soportar la carga máxima y perduración al ser sometidos a cargas constantes
- **Estabilidad:** Se evalúa la capacidad del soporte para mantener los rodillos en una posición segura y firme.

- **Peso de los soportes:** Evalúa la influencia del peso de los soportes en la carga total del sistema, ya que este factor impacta directamente en los requisitos del sistema de transmisión y en la eficiencia energética del diseño.

El análisis de estos criterios permitirá seleccionar la opción de diseño que no solo cumpla con las necesidades operativas, sino que también sea estructuralmente eficiente, segura y adecuada para las condiciones actuales de la empresa.

Tabla 2

Evaluación de alternativas de sujeción para los rodillos.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS SUJECIÓN RODILLOS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C	
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
VERSATILIDAD	30%	10	3	10	3	5	1,5
RIGIDEZ	30%	4	1,2	8	2,4	7	2,1
ESTABILIDAD	20%	4	0,8	10	2	6	1,2
PESO	20%	10	2	4	0,8	3	0,6
TOTAL	100%	7		8,2		5,4	

Nota. La evaluación tiene calificaciones de 0 a 10.

Según los resultados obtenidos en la tabla 2, se realiza la selección de la alternativa B.

5.4.4. Carga total del sistema.

Al diseñar la estructura del almacenador de rodillos, es crucial considerar diversos factores. Sin embargo, el factor primordial es la capacidad de almacenamiento, ya que esta determinará el peso total que el sistema deberá soportar y movilizar de manera eficiente.

Para realizar los cálculos del sistema de almacenamiento, es necesario determinar el espacio ocupado por cada rodillo y su sistema de sujeción, compuesto por una varilla y un soporte. La altura total disponible para la instalación del sistema se establece en 5,3 m.

$$\frac{Espacio\ estipulado}{Separcion} = \frac{5{,}3\ m}{0{,}18\ m} = \ 29{,}44\ Rodillos$$

El sistema cuenta con dos caras (frontal y posterior), lo que permite duplicar la capacidad de almacenamiento:

$$Capacidad\ en\ ambas\ caras = 29\ rodillos * 2 = 58$$

Además, se deben considerar otros dos rodillos ubicados en las curvas del sistema, ya que estas posiciones se aprovechan para maximizar el uso del espacio disponible, para 60 rodillos almacenados.

Para determinar la estructura adecuada que soporte el sistema de almacenamiento y seleccionar el motor correcto para su operación, es necesario calcular el peso total del sistema. Este cálculo incluye el peso de los rodillos almacenados, los soportes y varillas, así como el peso de las cadenas y demás componentes estructurales.

a) Peso total de rodillos
   - Peso promedio de los rodillos: El promedio es de 20 kg
   - Cantidad de rodillos: 60

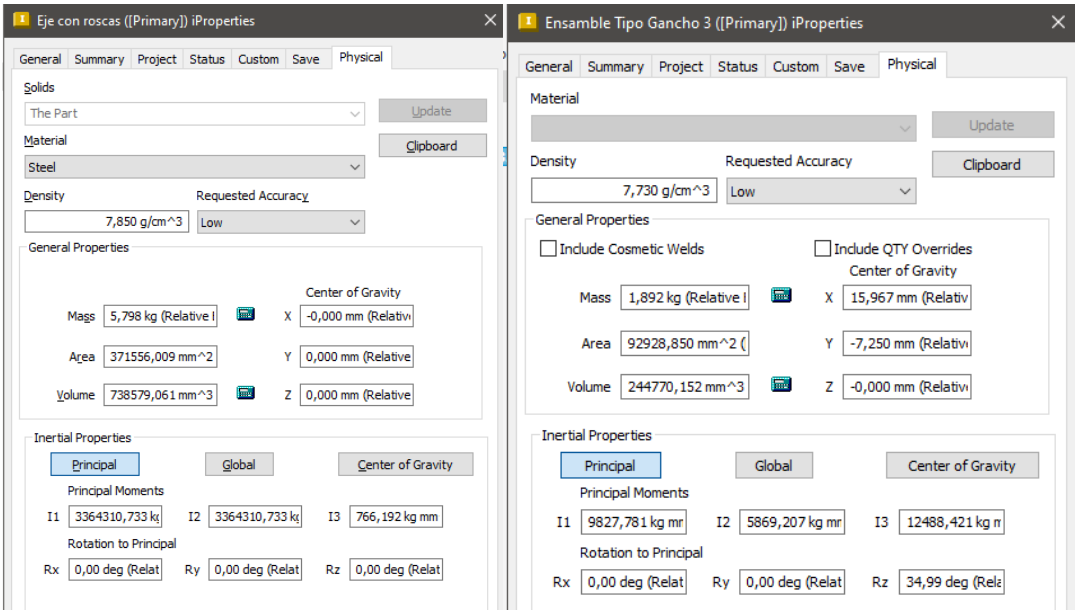
$$Cantidad\ Rodillos * Peso\ promedio = Peso\ total\ de\ rodillos$$

$$60 * 20\ kg = 1200\ kg$$

b) Peso total de soportes y varillas
   - Peso de soporte: Con el software Autodesk Inventor se realiza la simulación de los pesos para los soportes y varillas, en la figura 8 se tienen el peso simulado para ambos elementos.

Figura 8

Simulación de peso



Nota. La primera imagen es de la varilla de soporte y la segunda del soporte.

c) Cantidad de varillas para los soportes: 60

$$Cantidad\ Rodillos * Peso\ promedio = Peso\ total\ de\ rodillos$$

$$60 * 5.8\ kg = 348\ kg$$

d) Cantidad de soportes: Son utilizados dos soportes por cada rodillo.

$$120 * 1{,}9\ kg = 228\ kg$$

$$Peso\ total = peso\ rodillos + peso\ de\ las\ varillas + peso\ de\ soportes$$

$$Peso\ total = 1200\ kg + 348\ kg + 228\ kg$$

$$Peso\ total = 1786\ kg$$

e) ***Factor de seguridad.***

La estructura debe ser diseñada para soportar el peso total calculado más un factor de seguridad generalmente entre 1,5 y 2,5 (Shigley, 2015). Esto garantiza la estabilidad y resistencia del sistema ante posibles cargas dinámicas y eventos inesperados. Por lo que se selecciona un factor de seguridad de 2 para este sistema.

5.4.5. Cálculos de la estructura.

Después de realizar los cálculos del peso total del sistema, se realizaran los cálculos para determinar las dimensiones y características estructurales que el sistema debe tener para soportar de manera segura el peso del almacenamiento.

Datos del sistema.

- Peso total de los rodillos: $W_{total} = 1800\ kg.\ 9.81\ {}^{m}/_{s^2} = 17658\ N$
- Altura máxima de almacenamiento: $(h) = 5{,}3\ m.$
- Factor de seguridad (F_s): 2
- Material: Acero estructural ASTM A36 (resistencia a la fluencia $\sigma_y = 250\ MPa$).
- Distribución del peso: 4 columnas principales

$$F_{Columna} = \frac{W_{total}}{4} = \frac{17658}{4} = 4415\ N$$

Cálculo del esfuerzo axial en cada columna.

El esfuerzo axial es calculado como:

$$\sigma = \frac{F_{columna} * F_s}{A}$$

Donde A es el área de la sección transversal del perfil seleccionado, por lo cual para garantizar que el esfuerzo sea menor a la resistencia del material, se debe cumplir que:

$$\sigma \leq \sigma_y$$

Por lo cual.

$$\frac{4415 * 2}{A} \leq 250 * 10^6$$

$$A \geq \frac{8830}{250 * 10^6} = 3{,}53 * 10^{-5} Mts^2 = 35{,}3\ mm^2$$

Aunque ya se tenga en cuenta el factor de seguridad, se elige el perfil con área transversal mayor, considerando un margen adicional para la estabilidad estructural.

Perfil propuesto

Tubo cuadrado de acero ASTM A36

- Dimensiones: 50 mm*50 mm
- Espesor: $t = 4\ mm$

$$\boldsymbol{A = 4 * (50 * 4)}$$

$$\boldsymbol{A = 800\ mm^2}$$

Con esta área transversal se asegura la estabilidad estructural. Ahora se realiza el chequeo para verificar el pandeo de la estructura, utilizando la ley de Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2}$$

- E: Modulo de elasticidad (200 GPa).
- I: Momento de inercia del perfil.
- K: Coeficiente de longitud efectiva (K=1 para extremos libres).
- L: Longitud libre de la columna (L=5,3 m).

Se procede a realizar el cálculo del momento de inercia del perfil (I).

$$I = \frac{(b.h^3) - (b - 2t)(h - 2t)^3}{12}$$

$$b = h = 50\ mm\ y\ t = 4\ mm$$

$$I = 219695{,}923\ mm^4$$

Una vez obtenido el momento de inercia para el perfil, se realiza el cálculo del pandeo, donde se verifica que $P_{cr} \geq F_{columna} * F_s$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200000\ kPa * 2{,}62 * 10^{-7} Mts^4}{(1 * 5.3)^2}$$

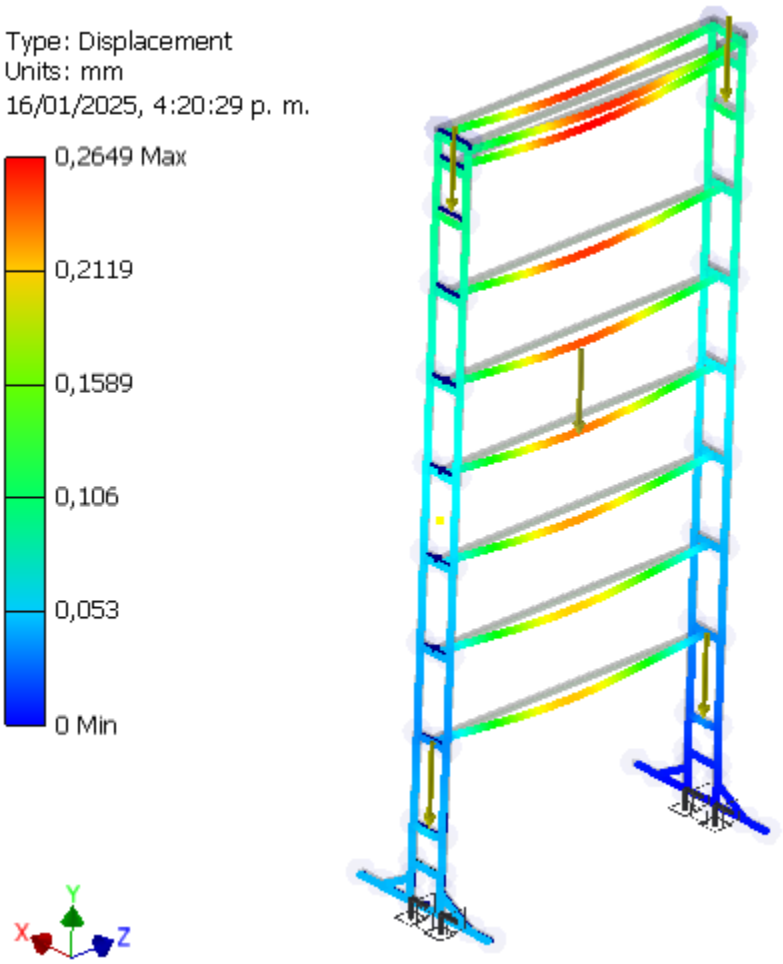
$$P_{cr} = 14339{,}73\ N$$

$$Margen\ de\ seguridad = \frac{P_{cr}}{F_{columna} * F_s} = \frac{14339{,}73\ N}{8830\ N} = 1{,}62$$

El margen de seguridad calculado es 1,62, lo que indica que el diseño cumple y está dentro de los límites de seguridad aceptables. En la figura 9 se muestra la simulación realizada para la estructura con las condiciones calculadas, donde su máximo pandeo es de 0,263 mm.

Figura 9.

Simulación de flexión de la estructura



La flexión máxima permisible en la estructura es calculada es:

$$\frac{L}{480} = \frac{2700}{480} = 5{,}62\ mm\ flexion\ maxima\ permitida.$$

Por lo cual se puede establecer que la estructura diseñada es resistente y contaría con la capacidad del almacenamiento para los sesenta rodillos previstos para el sistema.

5.4.6. Selección del motor.

En el proceso de selección del motor para el sistema se requiere considerar factores importantes como son: la altura a la cual se deben subir los rodillos, el factor de seguridad (2) y la eficiencia esperada del sistema.

Datos del sistema.

- Peso total de los rodillos: $P = 1800\ kg$.
- Altura máxima de almacenamiento: $(h) = 5{,}3\ m$.
- Factor de seguridad (F_s): 2
- Gravedad: $(g) = 9.81\ {}^{m}/_{S^2}$
- Eficiencia transmisión por cadena: 96%

Cálculos del motor.

Lo primero que se debe calcular es la fuerza necesaria para elevar los rodillos es:

$$F = P * g = 1800\ kg * 9.81\ {}^{m}/_{S^2} = 17658\ N$$

Ahora se realiza el cálculo con el factor de seguridad empleado:

$$\boldsymbol{F_{segura}} = \boldsymbol{F} * F_s = 17658\ N * 2 = 35316\ N$$

El trabajo necesario para elevar los rodillos a la máxima altura 5,3 Mts es:

$$\boldsymbol{W} = \boldsymbol{F_{segura}} * \boldsymbol{h} = 35316\ N * 5{,}3\ m = 187174{,}8\ J$$

Con los datos recopilados, se realiza el cálculo de la potencia requerida por el motor para ejecutar el trabajo. Previamente, es necesario definir un tiempo de elevación para los rodillos, ya que este valor influye directamente en la potencia del motor.

Con un enfoque conservador, se establece un tiempo de elevación de 30 segundos para los rodillos.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{187174{,}8\ J}{30\ S} = 6239{,}16W = 6{,}24\ kW$$

Según el estándar ASME B29.1 (2023), la eficiencia de las transmisiones por cadenas puede variar entre el 92% y el 98%, dependiendo de las condiciones operativas y el mantenimiento

adecuado. se obtendría la capacidad necesaria que debe tener el motor. Para los cálculos de nuestro sistema se toma el valor del 96% teórico, por lo cual:

$$P_{motor} = \frac{P}{\eta} = \frac{6239{,}16}{0{,}96} = 6499{,}12\ W = 6{,}5\ kW$$

Comercialmente, no se puede adquirir un motor con esta capacidad. Por lo tanto, se selecciona un motor disponible en el mercado con una capacidad superior, que cumple con los requisitos del sistema. El motor elegido es de 7,5 kW.

5.4.7. Selección de cadenas y engranajes.

Antes de comenzar con la selección de las cadenas y engranajes de transmisión de potencia, es necesario elegir el número de polos del motor eléctrico, ya que esto determinara la velocidad de rotación del motor. La selección es por un motor de 4 polos que, de acuerdo con las especificaciones comerciales, funciona a una velocidad nominal de 1800 RPM.

Datos del sistema de transmisión.

- Velocidad del motor: $n_{motor} = 1800\ RPM$
- Potencia del motor:$P_{motor} = 7{,}5\ kW$
- Diámetro del piñón: $D_{piñon} = 0.25\ Mts$
- Factor de seguridad (F_s): 2
- Altura máxima: $(h) = 5{,}3\ Mts$
- Peso total de los rodillos: $P = 1800\ kg$.

Cálculos de la cadena.

primero se debe calcular es la velocidad angular (ω) del piñón y su velocidad lineal (v):

$$\omega = \frac{n_{motor} * 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{1800\ RPM * 2\pi}{60} = 188{,}5\ {}^{rad}/_{s}$$

Velocidad lineal de la cadena.

$$v = \omega * \frac{D_{piñon}}{2}$$

$$v = 188{,}5 * \frac{0{,}25\ Mts}{2} = 23{,}56\ {}^{m}/_{s}$$

Ahora se procede a calcular el Torque transmitido por el eje del motor:

$$T_{motor} = \frac{P_{motor}}{\omega}$$

$$T_{motor} = \frac{7500\ W}{188{,}5\ {}^{rad}/_{s}}$$

$$T_{motor} = 39{,}78\ N * Mt$$

Considerando un sistema reductor (r) el cual reduzca la velocidad a 50 RPM.

$$T_{salida} = T_{motor} * r$$

$$T_{salida} = 39{,}78\ N * Mt * \frac{1800}{50}$$

$$T_{salida} = 1432{,}08\ N * Mt$$

Además, es necesario determinar los esfuerzos a los que estará sometida la cadena. Para ello, se realizan los cálculos correspondientes tomando como punto de partida el piñón de salida del reductor.

$$F_{cadena} = \frac{T_{salida}}{\frac{D_{piñon}}{2}}$$

$$F_{cadena} = \frac{1432{,}08\ N * Mt}{\frac{0{,}25\ m}{2}}$$

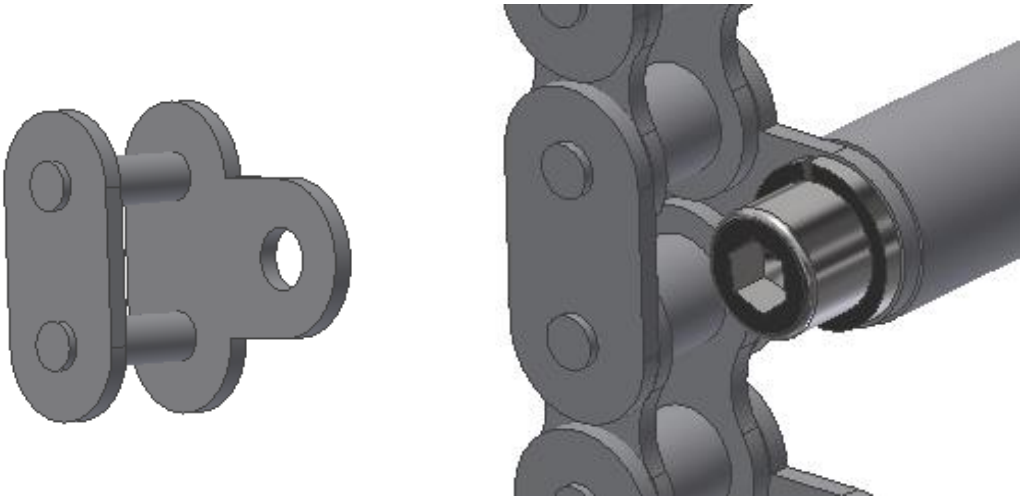
$$F_{cadena} = 11456{,}64\ N$$

Para seleccionar la cadena adecuada para nuestro sistema, se utiliza el estándar **ANSI** para cadenas de rodillos (ASA 80) como referencia. El cual nos indica que este tipo de cadenas soportan hasta 14100 N como carga máxima recomendada.

Se diseñará un sistema de sujeción para la cadena (figura 10) que permitirá fijar las varillas de soporte de los rodillos litográficos. De esta manera, el movimiento generado por el sistema de transmisión se transferirá de forma eficiente a los rodillos, asegurando su correcto desplazamiento dentro del almacenador.

Figura 10.

Sujeción de las varillas de soporte a la cadena.



Nota. Se tiene dos cadenas de transmisión en el sistema.

Cálculos de los ejes.

Para realizar los cálculos de los dos ejes que tendrá el sistema, se debe empezar estimando la carga generada por el peso de los rodillos, distribuido de manera igual hacia ambos lados.

- **Torque en el eje:**

$$\boldsymbol{T = F * r}$$

F= Fuerza transmitida por la cadena.

r= radio del engranaje

$$\boldsymbol{T = 11456,64\ N * 0.25\ Mts = 2864,16\ N * m}$$

Este valor es el torque del sistema, pero como se tienen dos ejes en el sistema, es dividido la fuerza para los dos ejes.

$$\boldsymbol{T = \frac{2864,16\ N * m}{2} = 1432,8\ N * Mts}$$

Una vez determinado el torque al que estarán sometidos los ejes, se calcula el esfuerzo cortante permisible, que, según Mechanical Engineering Design (2010), es $\tau = 166\ MPa$ para aceros de baja aleación. Por lo tanto:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

$$\tau = \frac{16 * 1432{,}8\ N * Mts}{\pi * 0.0508^3} = 55{,}63\ MPa$$

Con lo cual se determina que los ejes de 2 pulgadas de diámetro (50,8 mm) cumple a cabalidad con el esfuerzo cortante permisible.

5.5. Automatización del sistema.

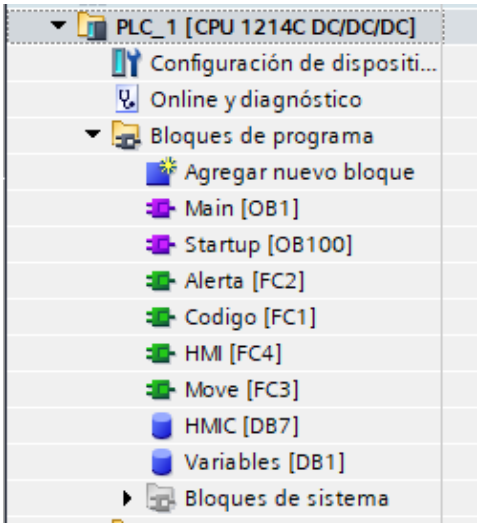
Para la automatización del almacenador, se propone implementar un sistema controlado por PLC, que permita un seguimiento más riguroso del inventario de rodillos y facilite la identificación del stock en tiempo real. Este enfoque reduciría los tiempos asociados con los movimientos del personal operativo sin registro. Además, el sistema generaría alarmas sobre el estado de los rodillos, activándose automáticamente cuando el operario ingrese un rodillo de recambio.

5.5.1. Generación de los bloques del sistema.

En la Figura 11 se ilustran los bloques funcionales del sistema, que desglosa en su interior los segmentos funcionales del sistema, como las rutinas de control, las instrucciones para los sistemas de alerta, la lógica de comunicación con el HMI y las acciones específicas para la gestión del almacenador incluyen los elementos de la programación del PLC, como los sistemas de alerta, la generación del código, la integración con el HMI y otros componentes esenciales para su funcionamiento.

Figura 11.

Bloques del sistema.

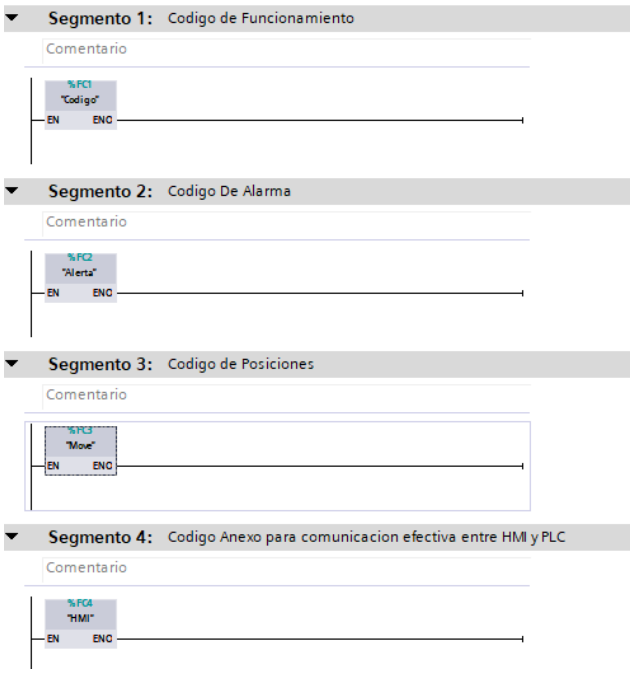


Nota. Inicio del sistema (morados), bloques de programación (verdes) y bases de datos (azul).

En la figura anterior se destaca el bloque denominado "Código", que organiza y desglosa los segmentos específicos que constituyen el sistema. En el bloque de programación “*Main*” se encuentran los segmentos fundamentales para el funcionamiento integral del sistema (Figura 12.).

Figura 12.

Segmentos del sistema.



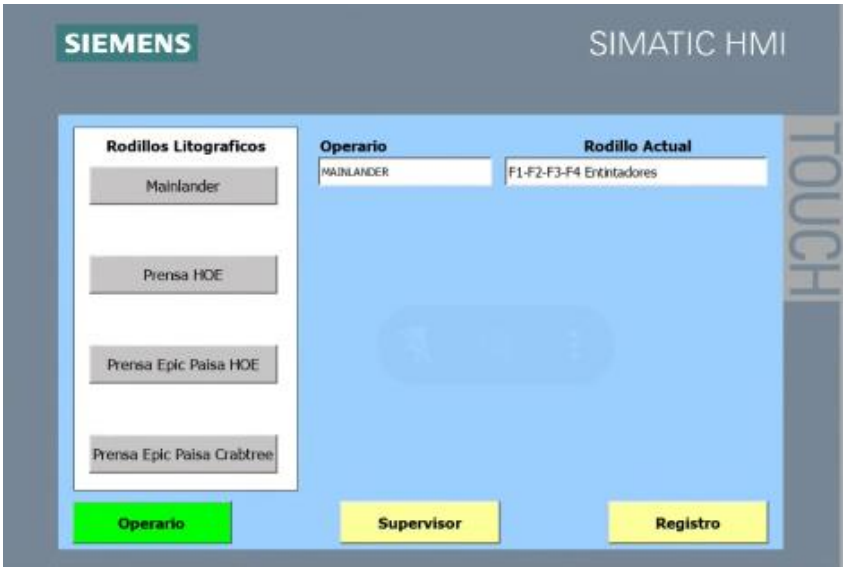
Hay cuatro segmentos necesarios para realizar la estructuración de la programación. Cada uno cumple con funciones específicas para el correcto funcionamiento del sistema:

- **Segmento 1:** Contiene el código principal encargado de gestionar el funcionamiento del sistema de almacenamiento.
- **Segmento 2:** Incluye la programación del sistema de alarmas, que se activará automáticamente cuando se retire un rodillo de su posición y sea necesario realizar su refacción.
- **Segmento 3:** Tiene como objetivo determinar la posición exacta de cada rodillo y gestionar el desplazamiento del sistema cuando sea requerido.
- **Segmento 4:** Establece la comunicación entre el código de programación y el HMI, que servirá como interfaz de manipulación para el personal de la compañía.

5.5.2. Interfaz del HMI.

La Figura 13 muestra la interfaz del HMI diseñada para la manipulación del almacenador. Esta interfaz está configurada con cuatro accesos diferentes (Mailander, prensa Hoe, Epic Hoe y Epic Crabtree), los cuales permitirán acceder al listado de rodillos litográficos de cada prensa.

Figura 13.
Interfaz del HMI.



Nota. Se destaca visualmente evidencia con el color verde, el perfil activo que está activo.

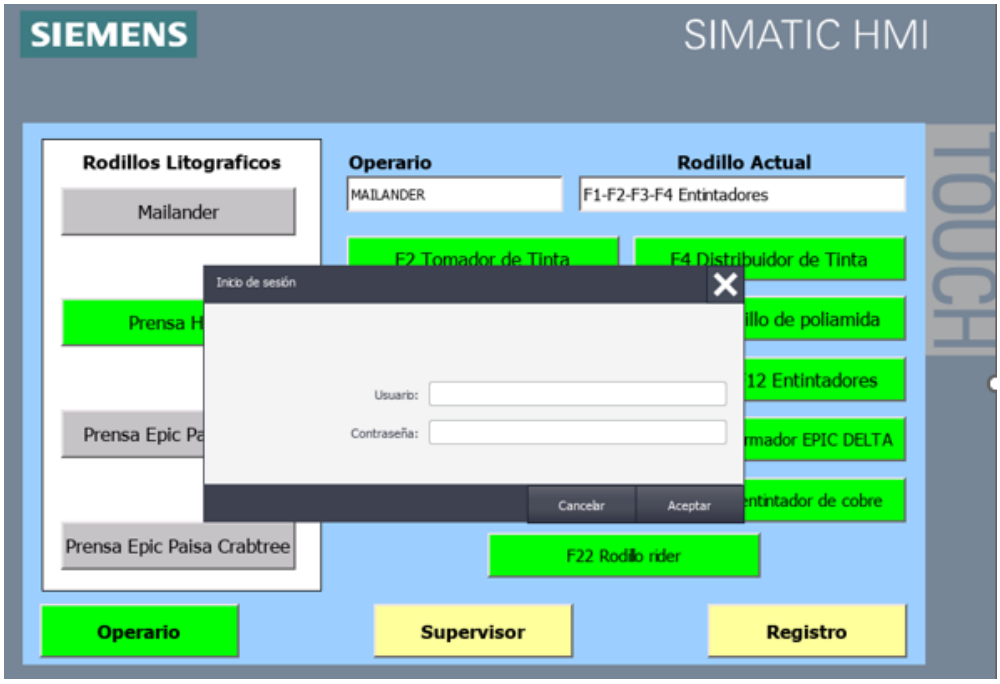
5.5.3. Perfiles de acceso al sistema.

En la programación del sistema se definieron dos tipos de perfiles para la manipulación de los rodillos, cada uno con funciones específicas. También se tiene un acceso de ingreso al registro de la manipulación de los rodillos:

- **Operario:** Este perfil tendrá acceso para retirar los rodillos del almacenador. Cada movimiento registrado generará una alarma de actividad y quedará registrado en el sistema.
- **Supervisor:** Este perfil permitirá realizar la reposición de los rodillos en el almacenador, una vez hayan sido reencauchados o rectificados, asegurando un control adecuado del inventario. También cambiara el ambiente de la pantalla con cada perfil.
- **Registro:** Este perfil permitirá consultar el historial de la manipulación de los rodillos.

Figura 14

Ingreso al perfil de supervisor (requiere contraseña).



El control de la manipulación de los rodillos por parte del personal operativo era una de las principales problemáticas abordadas en este trabajo. Con la implementación del registro en la

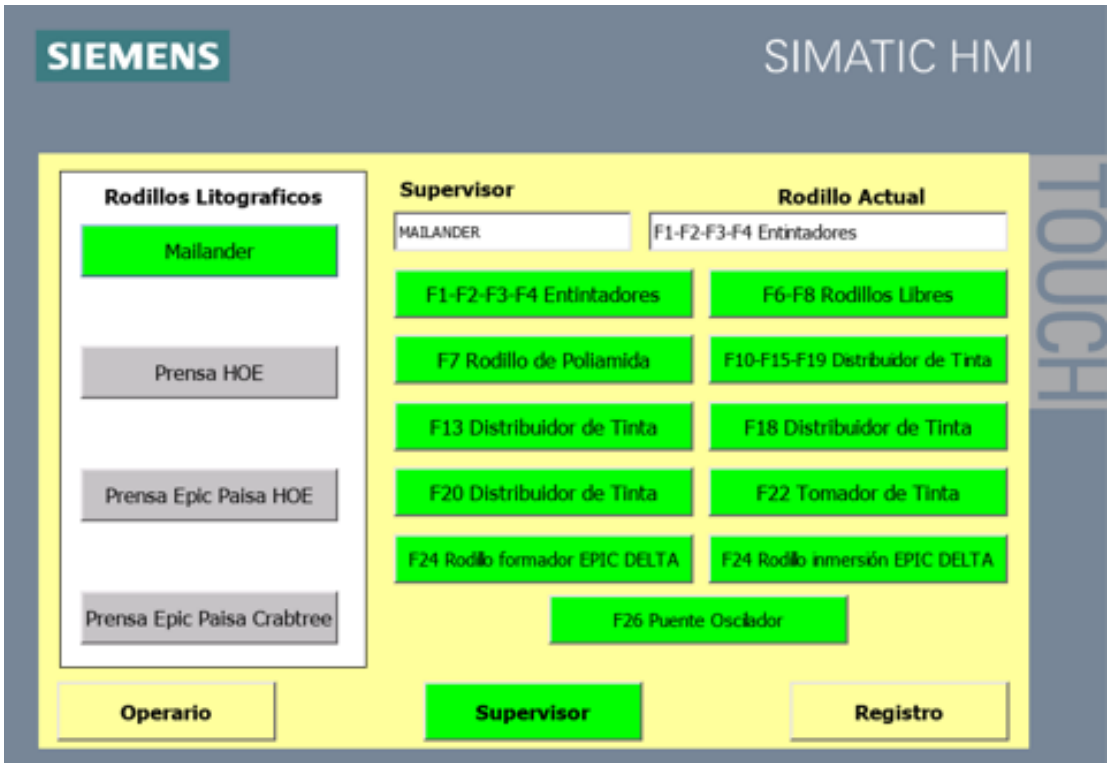
programación, este inconveniente se resolverá por completo, permitiendo un seguimiento preciso y eficiente de las actividades realizadas.

5.5.4. Clasificación de los rodillos litográficos.

Una vez seleccionados los perfiles mencionados, la interfaz mostrará los diferentes rodillos de la máquina, identificados según la nomenclatura establecida en el manual de las prensas litográficas. Estos rodillos están clasificados inicialmente por el nombre de la prensa litográfica (Figura 15). Sin embargo, dado que tres de las prensas comparten nombres redundantes en sus baterías de rodillos, existe el riesgo de confusión al momento de solicitarlos. Este detalle ha sido cuidadosamente considerado para minimizar errores operativos en el sistema.

Figura 15

Clasificación por prensas litográficas.



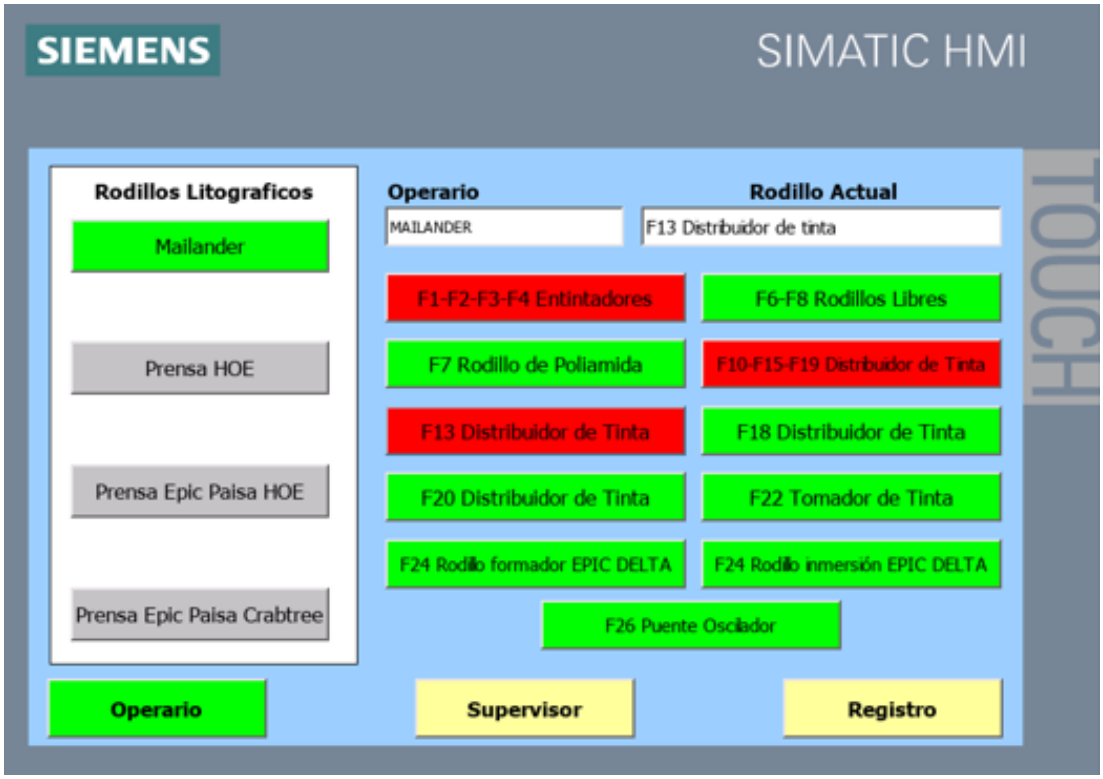
Nota. El perfil de supervisor es amarillo.

5.5.5. Registros y alarmas del sistema.

En el registro de la manipulación de los rodillos, es fundamental mantener un control riguroso, ya que, con 136 rodillos, es fácil omitir un registro, esto podría generar ineficiencias futuras, al no contar con un rodillo disponible por desconocer que ya se había utilizado. Para evitar este problema, se implementa un sistema de alarmas (Figura 16), que enviará información sobre la manipulación de cada rodillo. La alarma estará activa, en rojo en la interfaz de HMI, hasta que el rodillo se repague con el perfil del supervisor.

Figura 16

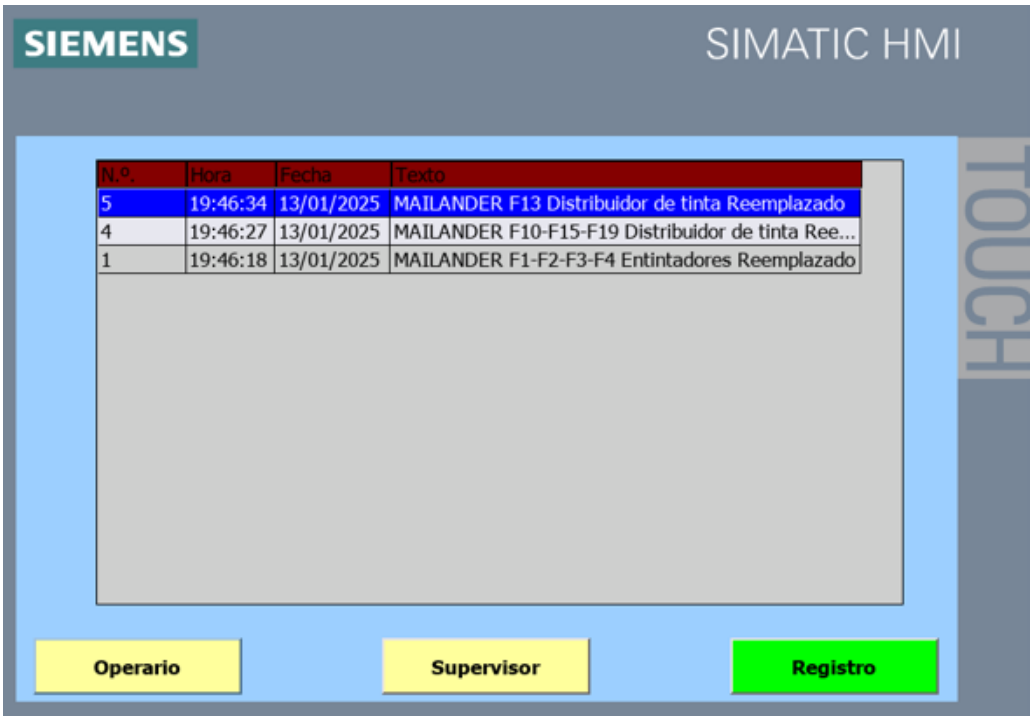
Alarmas del sistema por manipulación de los rodillos.



Además, en la figura 17 se muestra el registro que proporcionará un historial detallado del tiempo e intervalos de manipulación, lo que facilitará la evaluación de la durabilidad de los rodillos.

Figura 17

Registro de los movimientos en el HMI.

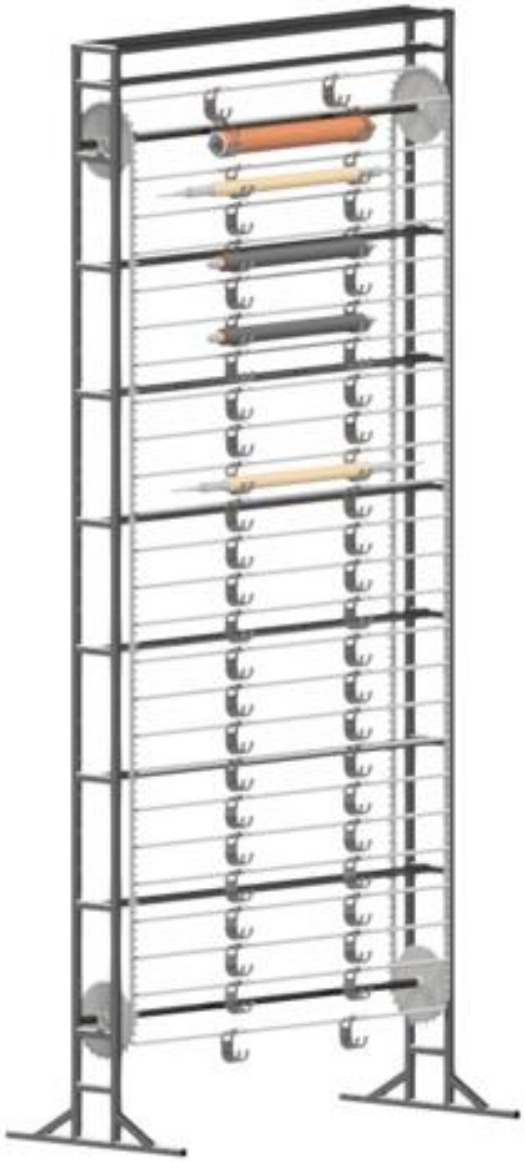


5.6. Diseño del almacenador y dispensador de rodillos litográficos.

Después de realizar los cálculos y comprobar con la literatura las condiciones necesarias para realizar el diseño del almacenador, se realizó su diseño utilizando el software Autodesk Inventor, obteniendo como un prototipo (figura 19) que cumple con las especificaciones y requerimientos establecidos en el trabajo.

Figura 18

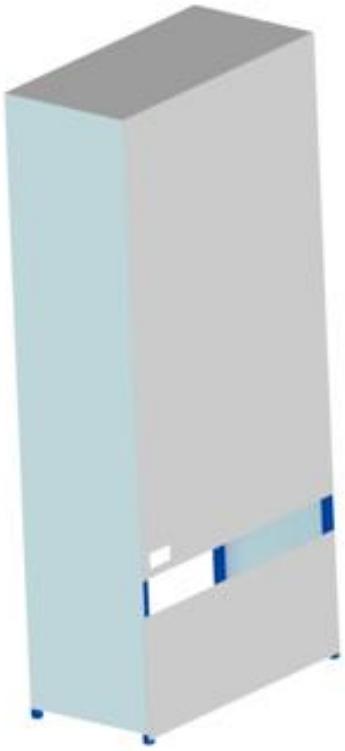
Diseño del almacenador y dispensador de rodillos litográficos.



Con el objetivo de minimizar la exposición de los rodillos con todos los componentes que se encuentran en el ambiente y buscando una mayor durabilidad del sistema de transmisión, se ha realizado una cubierta para todo el sistema (figura 19), compuesta por cuatro parales y componentes modulares, que permitan la facilidad para el mantenimiento de todo el sistema.

Figura 19

Cubierta modular.



6. Análisis de resultados.

Tras llevar a cabo los cálculos y simulaciones de los componentes estructurales necesarios para el diseño del almacenador y dispensador de rodillos, se concluye que la estructura sugerida es segura, cumpliría con las normas y resultaría viable para su implementación en la compañía.

La disponibilidad de los rodillos se mejoraría, evitando los tiempos muertos, a causa de la indebida manipulación, esto sería posible por el sistema de alarmas de la programación, lo cual se transformaría en un aumento en la productividad de la compañía, ya que el tiempo promedio para el proceso de reencauchado es de 7 días. Esto representaría en promedio 120 mil unidades no producidas.

Con la implementación de un sistema mecánico (transmisión por cadenas) se reducirían las posibilidades de un accidente laboral a causa del levantamiento indebido de cargar y más aún en condiciones adversas, mejorando las condiciones actuales, generando que se cumplan con las normas ISO 11228-1.

En general, el proyecto proporcionaría una solución eficiente y segura, mejoraría las necesidades operativas y de crecimiento de Prodenvases SAS, lo cual aumentaría significativamente la productividad y la eficacia. En la figura 18, se muestra la versión del almacenador generada con la ayuda del software Autodesk Inventor.

7. Conclusiones y recomendaciones

El diseño e implementación del sistema de almacenamiento vertical para rodillos litográficos en Prodenvases SAS, lograría optimizar el espacio disponible, incrementando la capacidad de almacenamiento. Además, se mejoraría la ergonomía y seguridad laboral del personal, ya que los rodillos se cargarían y descargarían a la misma altura (1.1 m).

La maximización del espacio se logra mediante la implementación de un diseño vertical optimizado, que permitirá incrementar la capacidad de almacenamiento de rodillos en la misma área disponible.

El diseño del almacenador mejoraría la movilidad de los pasillos aledaños al almacenamiento, pasando de 2 metros de ancho a 1,5 m aumentando los pasillos 0,6 m, con lo cual se cumpliría con la normatividad vigente.

La incorporación de un sistema de inventario automatizado mejoraría la trazabilidad y disponibilidad de los rodillos, reduciendo tiempos de inoperativos por falta del rodillo de recambio, lo que representaría en promedio 120 mil unidades no producidas, mientras se realiza el proceso de reencauche necesario.

La ergonomía y seguridad laboral se mejoraría, ya que los rodillos se manipularían a la misma altura (110 cm). Lo cual impactaría positivamente a la empresa, con una disminución en las probabilidades de accidentes laborales, por levantamiento de cargas (15 % de los accidentes laborales en Prodenvases).

En síntesis, el proyecto logró cumplir con los objetivos planteados, mejorando la capacidad, seguridad y eficiencia del proceso, contribuyendo al fortalecimiento de las operaciones de la empresa.

Referencias

American Institute of Steel Construction. (2017). Steel construction manual (15th ed.). Chicago, IL: AISC.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2023). ASME B29.1: Precision power transmission roller chains, attachments, and sprockets. ASME.

Ballou, R. H. (2004). *Logistics and Supply Chain Management: Planning and Control*. Pearson Education.

Choi, T.-M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2016). *Risk Management in Supply Chains*. Springer.

Lambert, D. M. (2006). *Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance*. The Supply Chain Management Institute.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2003). *ISO 11228-1: Ergonomics – Manual Handling*. ISO.

Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G., & Nisbett, K. (2010). *Mechanical engineering design*. McGraw-Hill.

Departamento de Ingeniería Mecánica

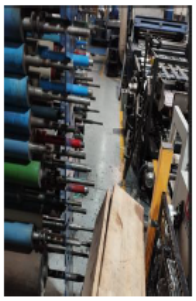
DISEÑO DE ALMACENADOR Y DISPENSADOR DE RODILLOS LITOGRÁFICOS

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

PRACTICANTE: Rodrigo Sánchez Gómez
ASESORES: Carlos Alberto Mejía B, Juan Esteban García
PROGRAMA: Ingeniería Mecánica
Semestre de la práctica: 2024-2

Prodenvases SAS es una empresa especializada en la fabricación de envases metálicos y plásticos que requieren procesos de litografía e impresión para las láminas metálicas. Dicho proceso se lleva a cabo en cuatro prensas litográficas (Mailander, Hoe y dos en tándem), cada una equipada con un juego específico de rodillos.





En la actualidad, Prodenvases gestiona un stock de 136 rodillos que se mueven entre almacenamiento, uso y reparación; sin embargo, carece de un sistema automatizado de clasificación y se enfrenta al riesgo ergonómico debido al manejo manual

Introducción

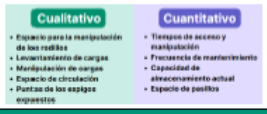
Los sistemas de almacenamiento de rodillos actuales son básicos y dependen mucho de procesos manuales. Esto provoca la falta de control en los inventarios y aumenta la posibilidad de tiempos de inactividad en la producción. Además, la disposición del almacén obliga a los trabajadores a mover los rodillos manualmente, lo que, puede ocasionar lesiones, especialmente por el diseño de los estantes y la escasez de espacio en los pasillos.
El objetivo de este proyecto es diseñar un almacenador y dispensador de rodillos litográficos que optimice los aspectos clave identificados previamente. Se busca mejorar la disposición de los rodillos mediante la implementación de un sistema autónomo con movimiento mecánico, que asegure su extracción en una posición segura para los trabajadores.

Objetivos

- Diseñar y optimizar el sistema de almacenamiento y clasificación de rodillos de litografía en Prodenvases SAS, mejorando la disposición del espacio, automatizando el control de inventarios y aumentando la seguridad y ergonomía para los trabajadores.
- Realizar el diseño de las estanterías para maximizar el uso del espacio disponible y facilitar el almacenamiento, implementando un sistema de movimiento mecánico que permita un acceso más eficiente a los rodillos.
- Diseñar la ubicación de las estanterías mejorando la movilidad y el flujo en los pasillos circundantes, permitiendo un acceso rápido y seguro a los rodillos en el área de trabajo.
- Diseñar un sistema automatizado de control de inventarios que registre la disponibilidad y el seguimiento de los rodillos, mejorando la gestión de stock y reduciendo los tiempos muertos en la producción.
- Incorporar mejoras ergonómicas en el diseño del almacenamiento, reduciendo la manipulación manual y las cargas físicas de los trabajadores, para disminuir el riesgo de lesiones laborales y aumentar la eficiencia operativa.

Metodología

Inicialmente se plantean tres posibilidades de diseños diferentes para el almacenamiento y así abordar y mejorar los problemas identificados, a los cuales se les evaluó las ventajas y desventajas para su implementación.



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS						
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO	ALTERNATIVA A		ALTERNATIVA B		ALTERNATIVA C
		X	X*PESO	X	X*PESO	X	X*PESO
CAPACIDAD ALMACENAJE	30%	8	2,4	6	1,8	9	2,7
ERGONOMIA	30%	5	1,5	5	1,5	10	3
ALTURA REQUERIDO	15%	8	1,2	8	1,2	5	0,75
ÁREA REQUERIDO	15%	8	1,2	8	1,2	8	1,2
VERSATILIDAD	10%	5	0,5	4	0,4	8	0,8
PONDERACIÓN TOTAL	100%	6,8		6,1		8,45	

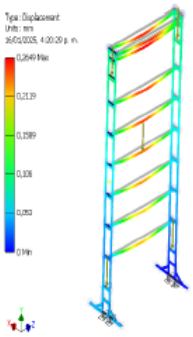
Resultados

Tras llevar a cabo los cálculos y simulaciones de los componentes estructurales necesarios para el diseño del almacenador y dispensador de rodillos, se concluye que la estructura sugerida es segura, cumpliría con las normas y resultaría viable para su implementación en la compañía.
Su implementación brindaría la eliminación de los tiempos de inoperancia por falta de un rodillo litográficos, el tiempo promedio de reencauchado de los rodillos es de 7 días. Esto representaría en promedio 120 mil unidades no producidas, lo que equivaldría aproximadamente a 7,5 millones de pesos

Diseño del almacenador



Simulación flexión



Interfaz del HMI (automatización)









Conclusiones

- El diseño e implementación del sistema de almacenamiento vertical para rodillos litográficos en Prodenvases SAS, lograría optimizar el espacio disponible,
- La maximización del espacio se logra mediante la implementación de un diseño vertical optimizado, que permitirá incrementar la capacidad de almacenamiento de rodillos en la misma área disponible
- El diseño del almacenador mejoraría la movilidad de los pasillos aledaños al almacenamiento, pasando de 2 metros de ancho a 1,5 m aumentando los pasillos 0,6 m
- La incorporación de un sistema de inventario automatizado mejoraría la trazabilidad y disponibilidad de los rodillos, reduciendo tiempos de inactividad y aumentando la eficiencia operativa.
- La ergonomía y seguridad laboral se mejoraría, ya que los rodillos se manipularían a la misma altura (1,1m). Lo cual impactaría positivamente a la empresa, con una disminución en la tasa de accidentes laborales, por levantamiento de cargas (15% de los accidentes laborales en Prodenvases).

DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR:
3023670957 rodrigo.sanchezg@udea.edu.co Rodri_sanchez87 https://linkedin.com/in/rodrigo-sanchez-gómez-7535192a4/