



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS ORDINARIA**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Diseño de una maquina roladora computarizada  
de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar  
la productividad en la empresa Fabricación y  
Montaje Estructural A&E S.R.L.**

**Presentado Por:**

**Bach. Jhann Antoni Saldaña Fernández**

**Asesor:**

**Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2025**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 DE OCTUBRE DE 2025**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**TESIS ORDINARIA**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Diseño de una maquina roladora computarizada  
de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar  
la productividad en la empresa Fabricación y  
Montaje Estructural A&E S.R.L.**

Presentado Por:

**Bach. Jhann Antoni Saldaña Fernández**

Aprobado por el Jurado Examinador

**PRESIDENTE: Dr. Ing. Daniel Carranza Montenegro**

**SECRETARIO: Dr. Ing. James Skinner Celada Padilla**

**VOCAL: Ing. Percy Niño Vasquez**

**ASESOR: Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**

**Lambayeque – Perú**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA**



**TESIS ORDINARIA**

# **TESIS**

## **TÍTULO**

**Diseño de una máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L.**

## **CONTENIDOS**

**CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

**CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

**CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.**

**CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

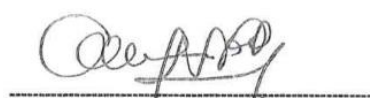
**CAPITULO V: ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.**

**CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

**AUTOR: Bach. Jhann Antoni Saldaña Fernández**

  
Dr. Ing.-DANIEL CARRANZA MONTENEGRO  
PRESIDENTE

  
Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA  
SECRETARIO

  
M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VASQUEZ  
MIEMBRO

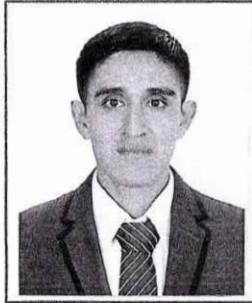
  
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
ASESOR

Lambayeque – Perú

2025



**ACTA DE SUSTENTACION N°0110-2025-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:30 a.m. del día lunes 27 de octubre 2025. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°344-2025-D-FIME, de fecha 21 de octubre 2025, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- |   |            |
|---|------------|
| • Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO   | PRESIDENTE |
| • Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA | SECRETARIO |
| • M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VASQUEZ   | MIEMBRO    |
| • M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA    | ASESOR     |

Se recibió la Tesis titulada:

**“DISEÑO DE UNA MAQUINA ROLADORA  
COMPUTARIZADA DE PLANCHA HASTA 25 MM DE ESPESOR PARA MEJORAR LA  
PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA FABRICACION Y MONTAJE ESTRUCTURAL A&E S.R.L.”.**

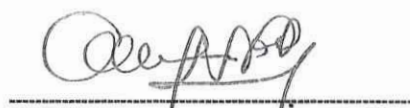
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **SALDAÑA FERNANDEZ JHANN ANTONI.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (15) en la escala vigesimal, mención REGULAR. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12.30 pm del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

  
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO  
PRESIDENTE

  
Dr. Ing. JAMES SKINNER CELADA PADILLA  
SECRETARIO

  
M.Sc. Ing. PERCY EDWAR NIÑO VASQUEZ  
MIEMBRO

  
M.Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA  
ASESOR

  
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ  
Decano

ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **Msc. Jony Villalobos Cabrera**, usuario revisor del documento titulado: **“DISEÑO DE UNA MAQUINA ROLADORA COMPUTARIZADA DE PLANCHA HASTA 25 MM DE ESPESOR PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA FABRICACIÓN Y MONTAJE ESTRUCTURAL A&E S.R.L”**.

Cuyo autor es, **Saldaña Fernandez Jhann Antoni**, identificado con documento de identidad **N° 72178390** declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **17%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 21 de noviembre del 2025

.....  
**MSC. ING. JONY VILLALOBOS CABRERA**

**DNI: 16699530**

**ASESOR**

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital

# Diseño de una maquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>17%</b>	<b>16%</b>	<b>1%</b>	<b>12%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unprg.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.osinergmin.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.autonoma.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>idus.us.es</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Desarrollo Educativo S.A. Instituto Toulouse Lautrec</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>planalto.pr.gov.br</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

11	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
13	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
15	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	es.jqlaser.com Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
19	www.iingen.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
20	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

**M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**  
DNI 16699530  
Docente Asociado  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jhann Antoni Saldaña Fernández  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Diseño de una maquina roladora computarizada de plancha h...  
Nombre del archivo: TESIS\_JHANN\_SALDA\_A\_13-11-2025.docx  
Tamaño del archivo: 17.49M  
Total páginas: 157  
Total de palabras: 19,317  
Total de caracteres: 108,319  
Fecha de entrega: 20-nov-2025 09:53a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2821986515



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS ORDINARIA

TESIS

Para Optar el Título Profesional de  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

"Diseño de una maquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L."

Presentado Por:  
**Bach. Jhann Antoni Saldaña Fernández**

Asesor:  
**Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera**

LAMBAYEQUE – PERÚ  
2025

  
**M. Sc. Ing. JONY VILLALOBOS CABRERA**  
DNI 16699530  
Docente Asociado  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

## DEDICATORIA

*La presente tesis la dedico en primer lugar a Dios, por siempre llevarme por el buen Camino. A mis padres Miriam y Héctor, pilares inquebrantables en mi vida, por su amor incondicional y porque todos mis logros se los debo a ellos. A esa persona especial, que, aunque ya no esté en vida, siempre la llevo en el corazón. Y a mis docentes de la UNPRG, a quienes reconozco como parte esencial para completar mi formación universitaria. Esta dedicatoria es para todos ustedes desde el fondo de mi corazón.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco profundamente a mis padres por ser la raíz de que este sueño se haga realidad de ser un buen profesional, por inspirarme y apoyarme incondicionalmente, por la confianza brindada y creer siempre en mí en todo momento. A mis amigos, gracias por estar siempre, por la confianza y el aliento en momentos buenos y difíciles. A mi hermano, por los consejos y el apoyo constante. A mis docentes de la UNPRG, mi sincera gratitud, por compartir su conocimiento con esfuerzo y compromiso, su liderazgo ha sido fundamental en mi formación profesional. Y a Dios, por siempre iluminar mi camino y cuidar de mis seres queridos.*

## RESUMEN

La investigación planteó como objetivo diseñar una máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L. El estudio fue aplicado, con un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, con una muestra conformada por una plancha metálica de 25 mm de espesor perteneciente a la empresa mencionada. La empresa electromecánica desarrolla su producción en siete fases definidas que suman 186 horas y un costo medio de S/.15435,00, siendo el rolado la etapa más costosa por su tercerización, con S/.3240,00 del total. Frente a ello, se dimensionó una máquina roladora computarizada capaz de procesar planchas de acero de hasta 25 mm de espesor y 6 m de longitud por 2,40 m de ancho, incorporando rodillos, rodamientos, cilindros hidráulicos y un motor de 200 HP, con comprobación de eficiencia energética y vida útil proyectada. Las simulaciones en SolidWorks 2022 confirmaron su resistencia estructural con esfuerzos y deformaciones dentro de parámetros seguros, validando su fiabilidad para el proceso de rolado. Finalmente, el análisis económico determinó una inversión de S/.255341,54, logrando un VAN de S/.261166,43, una TIR de 23,41% y recuperación en 5,74 años, demostrando rentabilidad y factibilidad.

**Palabras clave:** Ingeniería mecánica, máquina, Ingeniería hidráulica, equipamiento mecánico.

## ABSTRACT

The research aimed to design a computerized rolling machine for sheets up to 25 mm thick to improve productivity at the company Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L. The study was applied, with a quantitative approach and non-experimental design, with a sample consisting of a 25 mm thick metal sheet belonging to the aforementioned company. The electromechanical company develops its production in seven defined phases totaling 186 hours and an average cost of S/. 15435,00, with rolling being the most expensive stage due to its outsourcing, with S/. 3240,00 of the total. Faced with this, a computerized rolling machine was sized capable of processing steel sheets up to 25 mm thick and 6 m long by 2,40 m wide, incorporating rollers, bearings, hydraulic cylinders and a 200 HP motor, with verification of energy efficiency and projected useful life. Simulations in SolidWorks 2022 confirmed its structural strength with stresses and deformations within safe parameters, validating its reliability for the rolling process. Finally, the economic analysis determined an investment of S/.255341,54, achieving an NPV of S/.261166,43, an IRR of 23,41%, and a payback period of 5,74 years, demonstrating profitability and feasibility.

**Keywords:** Mechanical engineering, machine, hydraulic engineering, mechanical equipment.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	15
Capítulo I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	16
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Delimitación de la investigación .....	19
1.4. Justificación e importancia .....	19
1.4.1. Justificación económica.....	19
1.4.2. Justificación Científica .....	19
1.4.3. Justificación Ambiental .....	20
1.4.4. Justificación Social.....	20
1.5. Limitaciones .....	20
1.6. Objetivos .....	21
1.6.1. Objetivo General .....	21
1.6.2. Objetivos Específicos.....	21
Capítulo II : MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de estudio.....	22

2.2. Base Teórica .....	26
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada .....	30
Capítulo III : MARCO METODOLÓGICO .....	33
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	33
3.2. Población y muestra.....	33
3.3. Hipótesis .....	34
3.4. Variables – Operacionalización.....	34
3.5. Métodos y técnicas de investigación.....	36
3.5.1.    Métodos de investigación .....	36
3.5.2.    Técnicas de investigación.....	36
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	36
3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos.....	37
Capítulo IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	38
Capítulo V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	39
5.1. Resultados .....	39
5.1.1.    Descripción del proceso productivo actual en la empresa electromecánica.....	39
5.1.2.    Dimensionamiento de los elementos de máquina y electromecánicos que conforman la máquina roladora computarizada .....	45
Dimensionado de los elementos de máquina .....	48
Diámetro de los rodillos .....	48
Selección de rodamientos para eje de rodillos .....	55
Potencia del motor eléctrico.....	57
Sistema de transmisión .....	59
Selección de cilindro hidráulico.....	75
Sistema eléctrico para máquina roladora.....	76

Automatización de la máquina roladora computarizada .....	78
5.1.3. Simulación mediante el uso de software CAD/CAE .....	90
Análisis estático del rodillo superior sin cargar .....	90
Análisis estático del rodillo superior sin cargar y ambos apoyos .....	95
Análisis estático del rodillo superior cargado .....	99
Análisis estático del soporte móvil para rodillo superior .....	103
Análisis estático del piñón de 21 dientes .....	107
Análisis estático del engranaje de 50 dientes .....	111
Análisis estático del ensamblaje de la máquina roladora .....	115
Modelado para el ensamblaje de la máquina roladora computarizada .....	119
5.1.4. Presupuesto y la rentabilidad de la propuesta de diseño.....	125
5.2. Discusión de resultados .....	129
Capítulo VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
6.1. Conclusiones.....	131
6.2. Recomendaciones.....	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133
ANEXOS .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de Operacionalización de variables .....	35
Tabla 2 Descripción del proceso productivo en la empresa metalmecánica .....	39
Tabla 3 Resumen de tiempo y costo promedio de cada fase del proceso productivo .....	42
Tabla 4 Resumen de tiempo y costo promedio para cada proceso de la etapa de rolado .....	44
Tabla 5 Medidas estándar utilizadas en las planchas metálicas .....	46
Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero ASTM A 1011/A 1011M CS .....	47
Tabla 7 Recomendación del factor de sobrecarga para engranajes .....	59
Tabla 8 Cantidad de dientes y velocidades en cada etapa .....	62
Tabla 9 Factor para seleccionar el coeficiente elástico .....	64
Tabla 10 Números de calidad AGMA recomendados .....	64
Tabla 11 Factor de tamaño sugerido.....	68
Tabla 12 Factor de confiabilidad .....	70
Tabla 13 Costo de energía eléctrica para una tarifa MT3 para la máquina roladora computarizada.....	126
Tabla 14 Inversión estimada para la máquina roladora computarizada .....	127
Tabla 15 Análisis económico y flujo de caja para la factibilidad de la máquina roladora computarizada (tasa=10%, 20 años).....	128

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principio de funcionamiento de la máquina roladora con 3 rodillos.....	26
Figura 2 Máquina roladora con 3 rodillos .....	27
Figura 3 Esquema de carga cortante y momento flexionante en el rodillo superior de la máquina roladora.....	51
Figura 4 Rodamiento SKF 23952 CC/W33 .....	57
Figura 5 Motor WEG W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency 200 HP 8 P .....	58
Figura 6 Gráfica para seleccionar el paso diametral .....	60
Figura 7 Curvas para determinar el factor dinámico.....	65
Figura 8 Factor de geometría .....	66
Figura 9 Factor de geometría para piñones rectos externos.....	67
Figura 10 Factor de proporción .....	67
Figura 11 Factor de alineamiento del engranado .....	68
Figura 12 Factor de espesor de borde .....	69
Figura 13 Factor de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo .....	71
Figura 14 Factor de resistencia a la picadura por ciclos de esfuerzo .....	72
Figura 15 Esfuerzo de contacto admisible (Número Brinell). .....	74
Figura 16 Características del material acero AISI 4140 .....	75
Figura 17 Imagen referencial de cilindro hidráulico RACH-Series.....	76
Figura 18 Esfuerzos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo).....	92
Figura 19 Desplazamientos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo).....	93
Figura 20 Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo).....	94
Figura 21 Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos) .....	96

Figura 22 Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos) .....	97
Figura 23 Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos) .....	98
Figura 24 Esfuerzos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado).....	100
Figura 25 Desplazamientos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado).....	101
Figura 26 Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado).....	102
Figura 27 Tensiones Von Mises originadas en el soporte móvil para rodillo superior .....	104
Figura 28 Desplazamientos originados en el soporte móvil para rodillo superior	105
Figura 29 Factores de seguridad originados en el soporte móvil para rodillo superior .....	106
Figura 30 Tensiones Von Mises originadas en el piñón de 21 dientes.....	108
Figura 31 Desplazamientos originados en el piñón de 21 dientes .....	109
Figura 32 Factores de seguridad originados en el piñón de 21 dientes .....	110
Figura 33 Tensiones Von Mises originadas en el engranaje de 50 dientes .....	112
Figura 34 Desplazamientos originados en el engranaje de 50 dientes .....	113
Figura 35 Factores de seguridad originados en el engranaje de 50 dientes .....	114
Figura 36 Tensiones Von Mises originadas en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada.....	116
Figura 37 Desplazamientos originados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada.....	117
Figura 38 Factores de seguridad originados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada.....	118

Figura 39 Ensamblaje del sistema de transmisión con engranajes de dientes rectos para la máquina roladora .....	120
Figura 40 Base de soporte para elementos estructurales y electromecánicos para la máquina roladora.....	121
Figura 41 Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada (vista en transparencia) .....	122
Figura 42 Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada (vista normal) .....	123
Figura 43 Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada en vista isométrica .....	124

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como finalidad el diseño de una máquina roladora computarizada con la capacidad de operar planchas metálicas de hasta 25 mm de espesor, con el fin de mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L., dedicada al sector de estructuras metálicas. Esta necesidad surgió a partir de la observación de deficiencias en el proceso actual de rolado, el cual dependía de tercerizar dichos trabajos, pero que presentaba limitaciones tanto en capacidad como en precisión, generando tiempos prolongados de producción y costos elevados.

En relación a lo expuesto, se planteó diseñar una máquina roladora computarizada adaptada a los requisitos específicos de la empresa, que es rolar una plancha de hasta 25 mm de espesor y para lograr dicho objetivo, se plantearon varios objetivos específicos. En primer lugar, se detalló el proceso productivo actual evaluando los tiempos y costos de ejecución para establecer una línea base de comparación. Posteriormente, se dimensionaron los elementos mecánicos y electromecánicos que conforman la nueva máquina, considerando los parámetros técnicos necesarios para garantizar su eficiencia y durabilidad.

Además, se efectuaron simulaciones mediante software CAD/CAE para analizar el comportamiento estructural de los componentes, enfocándose en esfuerzos de Von Mises, deformaciones y factores de seguridad, para poder validar el diseño propuesto. Finalmente, se elaboró un análisis financiero que permitió determinar el presupuesto requerido, así como la rentabilidad del proyecto, utilizando indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (Payback), además el desarrollo de esta investigación permitió proponer una solución técnica viable, orientada a optimizar el proceso de rolado en la empresa, contribuyendo así a una mejora significativa en su productividad y competitividad en el mercado.

## CAPÍTULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El diseño de máquinas roladoras en la industria metalmecánica optimiza la productividad al deformar láminas metálicas con precisión mediante rodillos que ajustan ángulo y presión. Este proceso, clave en sectores como automoción y construcción, permite crear formas complejas con alta precisión y reduce el desperdicio de material (Trzepieciński, 2020). Un diseño adecuado de máquinas roladoras permite ajustar el diámetro y el espacio entre rodillos, lo que mejora la velocidad y precisión del trabajo aumentando la capacidad de producción hasta en 30% comparado con métodos menos especializados (Hu et al., 2021). La implementación de roladoras bien diseñadas mejora la calidad de los productos y reduce los tiempos de fabricación. Estudios recientes indican que el uso de roladoras avanzadas incrementa la precisión en el doblado y acabado de piezas en un 20-25 % en comparación con procesos manuales, lo que optimiza el rendimiento y disminuye la necesidad de ajustes posteriores (Lee et al., 2021). Estas máquinas optimizan el uso de materiales de diversos espesores y resistencias, siendo ideales para aplicaciones de alto volumen y carga pesada (Qosimova & Rubidinovsh, 2021). El diseño de rodillos de alta resistencia y geometría ajustada es crucial en manufactura, ya que garantiza alta durabilidad y estabilidad en el proceso de producción (Mercuri et al., 2021). El diseño de las roladoras debe incorporar materiales de alta calidad, como aceros tratados y aleaciones resistentes, que soporten la fricción y carga repetitiva sin deformarse. Esta durabilidad reduce el desgaste y asegura un rendimiento constante, lo que puede traducirse en una disminución del 15 % en los costos de operación a largo plazo (Orosz et al., 2020). Al controlar con precisión los factores de diseño, los ingenieros pueden maximizar la capacidad de carga, la velocidad de operación y la vida útil de las roladoras, lo que mejora la eficiencia productiva y ayuda a las empresas a mantenerse competitivas en el mercado global (Ikumapayi et al., 2020).

En el ámbito internacional, la eficiencia en la producción de maquinaria

roladora se ha convertido en un tema crucial para las empresas que buscan mejorar su competitividad en el mercado global. La falta de innovación tecnológica en la maquinaria, como las máquinas roladoras, limita la capacidad de producción y la calidad de los productos terminados. Esto se refleja en estudios que destacan que una modernización adecuada de estas máquinas puede aumentar la productividad y reducir costos operativos, haciendo que las empresas sean más competitivas en un entorno donde la automatización y la tecnología avanzada son esenciales (Gajdzik & Wolniak, 2021; Zhao et al., 2020).

En el contexto peruano, la industria de la construcción y la fabricación de estructuras enfrenta desafíos significativos debido a la obsolescencia de su maquinaria. Las empresas metalmeccánicas deben lidiar con la baja eficiencia de los procesos productivos, lo que impacta negativamente en la calidad de sus productos y en la rentabilidad. Según investigaciones, la implementación de tecnologías automatizadas en la maquinaria puede resultar en una mejora sustancial de la productividad y en la reducción de desperdicios, permitiendo a las empresas locales competir de manera más efectiva en el mercado (Craveiro et al., 2019; Huang et al., 2019).

En Chiclayo, la situación es aún más crítica, ya que muchas empresas operan con maquinaria anticuada que limita su capacidad de producción y afecta la calidad de sus productos. La falta de inversión en tecnología moderna resulta en una baja competitividad en la región, donde las demandas del mercado exigen una mayor eficiencia y adaptabilidad. Investigaciones recientes han señalado que la adopción de soluciones tecnológicas, como una máquina roladora computarizada, no solo incrementaría la productividad, sino que también contribuiría a la sostenibilidad y competitividad de las empresas locales (Awapara, 2023; Seclen-Luna et al., 2022).

La empresa metalmeccánica Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L. se ubica en la ciudad de Cayaltí, en el departamento de Lambayeque. Actualmente se dedica al diseño y armado de estructuras metálicas como pórticos, tijerales, naves industriales, etcétera, mediante el proceso de

soldadura, uniones permanentes y temporales, además de diferentes proyectos que conlleva realizar el rolado de distintos espesores, pero hoy en día ha tenido un incremento para rolar planchas de hasta 25 mm debido a los requerimientos en los trabajos solicitados por los clientes.

Hoy en día, a la empresa metalmecánica se le piden trabajos en diferentes lugares del país, pero en la gran mayoría de dichos trabajos es necesario utilizar el proceso de rolado, requiriendo para ello una máquina roladora, pero como no cuenta con dicha herramienta de trabajo se debe recurrir a tercerizar dicha etapa del proceso de producción, donde se incrementa el costo operativo debido a la contratación de dicho servicio, además de que el tiempo para entregar los trabajos se hace más largo, traduciéndose en una disminución en las utilidades de la empresa.

Si no se brinda una alternativa de solución al problema de la empresa, los tiempos de producción seguirán siendo altos, afectando negativamente las ganancias y perjudicando la economía de la empresa, además de que a veces los trabajos realizados por terceros no fueron adecuados, afectando la reputación de la empresa, generando sobrecostos inesperados.

En el estudio del diseño de una máquina roladora computarizada de plancha de hasta 25 mm de espesor, se consideran dos variables clave. La variable independiente es el diseño de la máquina roladora computarizada, que incluye la implementación de tecnología avanzada para mejorar la precisión y eficiencia del proceso de rolado. Este diseño permite optimizar la producción al reducir los errores y los tiempos de inactividad, facilitando un manejo más efectivo de los materiales.

Por otro lado, la variable dependiente es la productividad, que se refiere al aumento en la cantidad de planchas que se pueden procesar en un período determinado y a la reducción de desperdicios. Con la nueva máquina, se espera que la empresa pueda aumentar su producción de manera significativa, mejorar la calidad del producto final y satisfacer mejor las demandas del mercado. En conjunto, estas variables resaltan la importancia de la innovación tecnológica para el crecimiento y competitividad de la

empresa.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En cuánto se logra mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L mediante el diseño de una máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor?

## **1.3. Delimitación de la investigación**

La investigación se delimitó al diseño mecánico y computacional de una máquina roladora para planchas de hasta 25 mm de espesor, enfocándose únicamente en los aspectos técnicos, estructurales, económicos y de simulación.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación económica**

Se basó en la necesidad de reducir los altos costos y tiempos asociados al proceso de rolado actual que es tercerizado en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L. Al implementar una máquina roladora computarizada, se buscó optimizar los recursos además de aumentar la precisión del trabajo y disminuir la dependencia de terceros, lo cual permite mejorar los márgenes de rentabilidad. El análisis financiero demostró que la inversión en el diseño y construcción de esta máquina es rentable a corto plazo, gracias a indicadores positivos como un Valor Actual Neto (VAN) favorable, una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al costo de oportunidad y un periodo de recuperación de la inversión reducido, y de esta manera, el proyecto representó una mejora significativa en la eficiencia operativa y en la competitividad de la empresa dentro del sector metalmecánico.

### **1.4.2. Justificación Científica**

La justificación científica del proyecto radicó en la aplicación de principios de ingeniería mecánica y simulación computacional para desarrollar un

diseño eficiente, óptimo funcional. A través del uso de software CAD/CAE, se validaron esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, garantizando la viabilidad técnica de la máquina roladora, lo cual permitió proponer una solución fundamentada en el análisis estructural y en criterios de diseño precisos, orientada a mejorar procesos industriales con base científica.

#### **1.4.3. Justificación Ambiental**

La justificación ambiental del proyecto se centró en la reducción del impacto ecológico asociado al proceso de rolado externo, disminuyendo el uso de transporte y el consumo energético de equipos obsoletos. Al incorporar una máquina eficiente y localizada en la empresa, se optimizó el uso de materiales, se redujeron emisiones indirectas y se promovió un proceso de fabricación más limpio y sostenible, en línea con prácticas industriales responsables.

#### **1.4.4. Justificación Social**

La justificación social del proyecto se sustentó en el impacto positivo sobre el empleo y las condiciones laborales dentro de la empresa, ya que al incorporar una máquina roladora computarizada, se generan oportunidades de capacitación técnica para el personal, mejorando su calificación y seguridad en el trabajo, con ello, también el incremento en la productividad favoreció la estabilidad laboral y el crecimiento de la empresa, contribuyendo al desarrollo económico local y al bienestar de la comunidad vinculada al sector metalmecánico.

#### **1.5. Limitaciones**

Una de las limitaciones de la investigación fue la disponibilidad restringida de datos técnicos precisos sobre el comportamiento de ciertos materiales utilizados por la empresa, lo que obligó a trabajar con valores referenciales estándar durante el proceso de simulación y diseño.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Diseñar una máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor para mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Detallar el proceso productivo actual en la empresa electromecánica mostrando tiempos y costos de ejecución en el proceso productivo.
- b) Dimensionar los elementos de máquina y electromecánicos que conforman la máquina roladora computarizada de acuerdo a los requerimientos de la empresa electromecánica.
- c) Efectuar la simulación respectiva mediante el uso de software CAD/CAE para determinar los esfuerzos de Von Mises, deformaciones y factores de seguridad en cada elemento estructural.
- d) Determinar el presupuesto y la rentabilidad de la propuesta de diseño de la máquina roladora (VAN, TIR, Payback).

## CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudio

#### Contexto Internacional

A nivel internacional se llevó a cabo un estudio realizado en Liaocheng en China, desarrollado por Yigang et al. (2023), proponiendo la creación y desarrollo de una maquinaria para doblado con rodillos CNC de cuatro rodillos con elevada precisión además de un sistema automatizado. Para lo cual, se emplearon como muestra a los perfiles que deben ser doblados. Lo novedoso del estudio fue que probaron cilindros servoeléctricos en dicha maquinaria, permitiendo una mejora bastante significativa en el control además de la aceleración en el tiempo de respuesta, otorgando un diseño más completo. Dicha propuesta resulta bastante atractiva y versátil, porque es posible aplicarse en diferentes tipos de trabajos. Incluido a lo mencionado, conforme se fueron realizando más pruebas, se logro notar que la precisión en el rolado iba mejorando progresiva y significativamente.

En la ciudad de Quevedo ubicada en Ecuador, Menoscabal & Villacis (2021) llevaron a cabo un estudio con el fin de diseñar y fabricar una máquina roladora que permita el curvado de diferentes tipos de perfiles que requería la empresa Agroindustrias Montenegro, tanto perfil T, ángulos y platinas. Para ello se emplearon como muestra a perfiles que la empresa solicitaba para los trabajos requeridos. Para la recolección de la información se utilizaron herramientas como fichas técnicas, guías de observación y registro de datos. El sistema de rolado operaba mediante el uso de un mecanismo hidráulico que incluye tres rodillos que se conectan mediante engranajes, los cuales permiten el curvado requerido en los perfiles. Para el diseño se tuvo en cuenta al análisis de fuerzas (estáticas y dinámicas), también el modelado además de ensamblaje con la simulación de los componentes, incluyendo el sistema de control con las fuerzas aplicadas. Dicha máquina pudo trabajar perfiles con un espesor de hasta 6 mm, logrando radios de curvatura mínimos de 0.30 m, ángulos de 2 por  $\frac{1}{4}$ ", perfiles tipo T de 30x3 y platinas de 50x6. Con relación al costo de implementación del equipo, fue de \$5956.23, equivalente a la mitad

del precio de mercado de una máquina con similares características.

En Quito del Ecuador se llevó a cabo un estudio por parte de Llive e Imbaquingo (2020), proponiendo el diseño y armado de una roladora semiautomática pensada para trabajar con elementos estructurales delgados, específicamente para la empresa metalmecánica San Bartolo. La muestra que se usó fueron los elementos estructurales disponibles, que tenían como máximo 3 mm de grosor y hasta 40 mm de ancho. La máquina incluyó un sistema para sujetar y montar los perfiles, otro para bajar la velocidad y uno más que se encarga de aplicar la presión necesaria. Para el diseño se aplicó la metodología de diseño concurrente, tomando en cuenta las especificaciones técnicas según lo que la empresa necesitaba. Al final se hizo el montaje de las partes diseñadas y se realizaron pruebas de funcionamiento con distintos tipos de elementos estructurales, donde la máquina cumplió con lo que la empresa requería.

### **Contexto Nacional**

En el ámbito nacional, se encontró un estudio en Arequipa, que fue elaborado por Corrales & Vargas (2024), que tuvo como objetivo diseñar y fabricar una roladora de planchas de 3 rodillos para el proceso de curvado cilíndrico de láminas metálicas de hasta 3 mm de espesor y 1200 mm de ancho. Se empleó una investigación de tipo aplicada con un enfoque tecnológico y experimental. No se especifica una muestra en términos de participantes humanos, dado que el estudio se enfoca en el diseño y prototipado de maquinaria; sin embargo, se trabajó con materiales como planchas de acero A-36 y para la recolección y análisis de datos se utilizaron simulaciones mediante el software SolidWorks, cálculos de esfuerzos y deformaciones, y pruebas prácticas del prototipo. Los resultados indicaron que se logró construir una máquina funcional, con dimensiones de 1.5 m x 0.7 m x 1.25 m y un peso aproximado de entre 200 y 300 kg, operada por un sistema eléctrico trifásico de 380 V/60 Hz. Finalmente, concluyeron que el diseño es viable técnica, económica y operativamente, cumpliendo con los requerimientos para su aplicación en talleres metalmecánicos locales, pudiendo integrarse como herramienta

educativa para fortalecer la formación práctica de los estudiantes en procesos de manufactura.

En la ciudad de Trujillo se desarrolló una investigación a cargo de Estrada (2023), planteando como objetivo diseñar una máquina roladora mecánica para curvar planchas de acero inoxidable AISI 304, destinadas a la fabricación de carrocerías cisterna para transporte de líquidos corrosivos como el Adblue. Se trató de una investigación de tipo aplicada, con enfoque en diseño de ingeniería. No se trabajó con una muestra poblacional humana, ya que se trató del diseño de una máquina, aunque sí se usaron como parámetros las especificaciones de una plancha metálica de 3660 mm de largo, 1200 mm de ancho y 6 mm de espesor. Para la recolección de datos se emplearon herramientas de cálculo técnico, normas de diseño mecánico, catálogos de elementos mecánicos y software de diseño (como SolidWorks). Los resultados mostraron que se logró diseñar una máquina capaz de producir cilindros de hasta 1 metro de diámetro con una capacidad de producción mínima de dos cilindros por hora, un costo de fabricación menor a \$4000 y un torque máximo de 4892.85 Nm. Concluyeron que el diseño propuesto es funcional, seguro, económico y cumple con los requerimientos del cliente, presentando además un factor de seguridad aceptable en todos sus componentes estructurales y de transmisión.

En Trujillo, el autor Ramírez (2022) llevó a cabo una investigación con el objetivo de definir y escoger el sistema hidráulico más adecuado para una máquina roladora, aplicando principios del diseño mecánico. La idea fue mejorar el servicio de curvado, reducir los tiempos de trabajo y usar mejor la mano de obra disponible. Para recolectar la información se aplicó un cuestionario que fue dirigido al gerente general. La muestra considerada fue una roladora hidráulica de tres rodillos para perfilar. Según los resultados, el sistema que se utilizó para el curvado fue hidráulico, compuesto por un cilindro hidráulico, válvula direccional, válvula de control de flujo, bomba hidráulica, válvula de presión, manómetro, mangueras de presión, motor eléctrico y un filtro de succión. En la parte económica, se hizo una evaluación que arrojó un VAN de S/.26076.34 y una TIR del 70%, lo cual demostró que el proyecto sí

es viable, con una inversión total de S/.8850.56. Por último, en el análisis estático se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.98 para la estructura de soporte, 8.8 para la parte que acciona la fuerza hidráulica y 2.6 para el eje del cilindro.

En Huancayo, García (2019) llevó a cabo un estudio con el objetivo de diseñar una máquina roladora para ser usada en el distrito de Pichanaki, que pertenece a la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín. Para esto se trabajó con planchas metálicas comerciales de 1.20 m x 2.40 m, con un máximo espesor de 5.9 mm, además de tubos con hasta 3 pulgadas de diámetro, con un espesor desde 1.80 mm hasta 2.50 mm. Los resultados se obtuvieron utilizando el software SolidWorks 2013, donde se verificó que el factor de seguridad en el rodillo de arriba fue de 3.49 y en el de abajo de 3.57. Además, se evaluó la duración de los rodamientos, dando como resultado una vida útil de 16168 horas y de 15413 horas, respectivamente.

### **Contexto Local**

En la ciudad de Chiclayo se realizó un estudio desarrollado por Nepo & Ochoa (2024), que plantearon como objetivo dimensionar una máquina roladora de 2.4 metros de largo por 3/8" de espesor, con el fin de mejorar los tiempos de producción en dicha empresa. Se trató de una investigación aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. La muestra de estudio fue una plancha metálica de hasta 3/8" de espesor, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico y para recolectar datos, se utilizaron como instrumentos la observación directa, la revisión bibliográfica y fichas de apuntes. Los resultados mostraron que el proceso de rolado externalizado tardaba 26 horas y costaba S/.1950 por trabajo, mientras que con la máquina diseñada se estimó un ahorro significativo de tiempo y costos. El diseño incluyó rodillos de 100 mm de diámetro externo, motor de 30 kW, engranajes rectos en tres etapas y estructura de soporte, alcanzando factores de seguridad superiores a 2 en todos los elementos críticos mediante simulaciones en SolidWorks. Económicamente, la inversión de S/.39 538.81 generó un VAN de S/.153 744.28, una TIR del 58.21% y un periodo de

recuperación (Payback) de 1.88 años, logrando concluir que el diseño propuesto no solo es viable, sino también rentable para la empresa.

## 2.2. Base Teórica

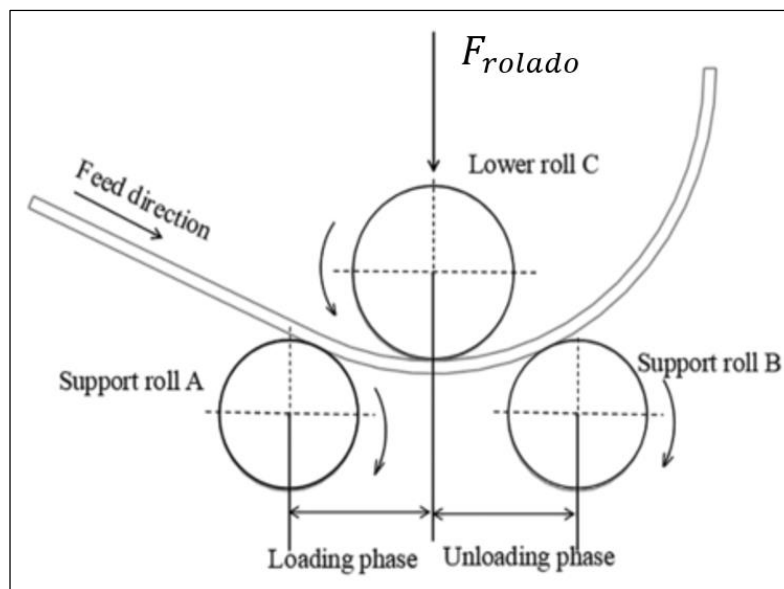
### Proceso de rolado

Se define al proceso de rolado como la operación donde el material se es forzado para adoptar una forma nueva, que es originado por el movimiento, donde dichos desplazamientos se realizan estirando y contrayendo las longitudes en los 3 ejes dimensionales; donde la forma deseada depende de los movimientos antes mencionados (Estrada, 2023).

El rolado o doblado es una operación importante al momento de trabajar con formado de material metálico en el sector industrial. Gran cantidad de piezas emplean dicho método ya que aumentó el momento de inercia de las mismas, proporcionando una rigidez adicional sin un incremento de la masa (Gil, 2022).

**Figura 1**

*Principio de funcionamiento de la máquina roladora con 3 rodillos.*



Nota: Obtenida de (Liu et al., 2023).

También se le llama proceso de curvado y viene a ser la deformación plástica que se origina en un metal al ser sometido a un esfuerzo flexionante determinado. Se ejecuta en frío, ya que a temperatura ambiente y aplicando

una elevada presión se evita que sobrepase la zona elástica y llegue a la zona donde el material puede romperse (Huari, 2020).

**Figura 2**

*Máquina roladora con 3 rodillos*



Nota: Obtenida de (Direct Industry, 2024).

En consideración con Juvinall y Marshek (2012), es necesario utilizar las expresiones matemáticas mencionadas a continuación para diseñar máquinas roladoras:

Fuerza de doblado

Dicha expresión es empleada para determinar la fuerza necesaria para que el material utilizado pueda ser doblado en la máquina roladora. La expresión matemática es:

$$F_{rolado} = \frac{K \cdot L_{contacto} \cdot A_{plancha} \cdot e_{plancha} \cdot \sigma_{fluencia}}{2 \times R_{curvatura}}$$

Donde:

$F_{rolado}$ : indica la fuerza que es necesaria para el proceso de rolado.

$K$ : viene a ser una constante que depende del proceso de rolado y del material empleado.

$L$ : viene a ser la longitud del material utilizado para el proceso de rolado.

$e$ : viene a ser el grosos o espesor del material utilizado para el proceso de rolado.

$R_{doblado}$ : viene a ser el radio de curvatura requerido en el proceso de rolado.

Capacidad de carga del rodillo superior

Dicha expresión matemática permite determinar la máxima capacidad de carga que logra aguantar el rodillo superior. La expresión matemática es:

$$C_{rodillo\ sup} = M_{m\acute{a}x} \times D_{rodillo\ sup}$$

Donde:

$C_{rodillo\ sup}$ : viene a ser la capacidad de carga que soporta el rodillo de arriba.

$M_{m\acute{a}x}$ : viene a ser el momento flexionante máximo que se aplica.

$D_{rodillo\ sup}$ : viene a ser el diámetro del rodillo de arriba.

Potencia requerida

Dicha expresión matemática permite calcular la potencia que se necesita en el motor para poder realizar el proceso de rolado. La expresión matemática es:

$$P_{roladora} = 30000 \times T_{requerido} \times V_{rolado}$$

Donde:

$P_{roladora}$ : viene a ser la potencia necesaria.

$T_{requerido}$ : viene a ser el par de torsión o torque necesario.

$V_{rolado}$ : viene a ser la velocidad necesaria para el proceso de rolado.

Velocidad de rolado

Dicha expresión matemática permite calcular la velocidad del proceso de rolado. La expresión matemática es:

$$V_{rolado} = \pi \times D_{rodillo} \times N_{rodillo}$$

Donde:

$V_{rolado}$ : velocidad necesaria para el proceso de rolado.

$D_{rodillo}$ : viene a ser el diámetro que posee el rodillo.

$N_{rodillo}$ : viene a ser la velocidad rotación que posee o necesita el rodillo.

Rentabilidad

Las expresiones para calcular y estimar los indicadores de rentabilidad como VAN, TIR y tiempo de retorno de la inversión se mencionan seguidamente:

Valor Actual Neto (VAN)

Se puede obtener al utilizar la expresión matemática:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

$F_t$ : flujo efectivo neto en el año t.

$r$ : Tasa de descuento o tasa de interés necesaria.

$n$ : vida útil proyectada para el estudio.

La Tasa Interna de Retorno (TIR)

Puede ser estimada empleando la expresión matemática:

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} = 0$$

Payback

También se le llama tiempo de recuperación de la inversión, que se puede calcular al aplicar la expresión matemática:

$$Payback = A_n + \frac{I_n}{F_n}$$

Donde:

$A_n$ : Año donde se logra conseguir recuperar la inversión.

$I_n$ : Inversión que falta recuperar al final del último año completo.

$F_n$ : Flujo de efectivo del último año completo.

### 2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

### **CAD (Diseño Asistido por Computadora)**

Herramienta digital usada para crear modelos y planos técnicos en 2D o 3D con alta precisión.

### **CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)**

Software que permite analizar y simular el comportamiento físico de un diseño antes de fabricarlo.

### **Deformación**

Cambio en la forma o dimensiones de un material al someterlo a una fuerza o carga.

### **Diseño mecánico**

Proceso de concebir y desarrollar componentes o sistemas que cumplan funciones técnicas específicas.

### **Elementos de máquina**

Partes fundamentales como ejes, engranajes o rodamientos que integran un sistema mecánico.

### **Estructura metálica**

Conjunto de componentes de acero u otro metal ensamblado para soportar cargas o formar una máquina.

### **Factor de seguridad**

Relación entre la resistencia real de un material y la carga máxima esperada, usada para garantizar seguridad en el diseño.

### **Maquinaria industrial**

Equipos diseñados para realizar procesos de fabricación a gran escala o con alta precisión.

**Plancha metálica**

Lámina de metal de distintos espesores usada como materia prima en estructuras y componentes.

**Productividad**

Medida de la eficiencia en el uso de recursos para obtener un resultado, generalmente vinculada a tiempo y costo.

**Rentabilidad**

Capacidad de una inversión o proyecto para generar beneficios económicos superiores a sus costos.

**Roladora**

Máquina empleada para curvar o dar forma cilíndrica a planchas metálicas mediante rodillos.

**Simulación estructural**

Técnica que permite prever cómo se comportará un diseño frente a cargas aplicadas, sin necesidad de fabricar un prototipo.

**Von Mises (esfuerzo)**

Criterio usado para evaluar si un material fallará bajo una combinación de cargas, muy utilizado en análisis de estructuras.

## **CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

La investigación fue considerada de tipo aplicada porque se enfocó en resolver una necesidad concreta dentro de la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L., mediante la aplicación de conocimientos técnicos y científicos en el diseño de una máquina roladora computarizada, no se buscó únicamente generar teoría, sino aplicar principios de ingeniería mecánica y herramientas de simulación para desarrollar una solución práctica que mejorara directamente la productividad y eficiencia del proceso industrial.

Tuvo un enfoque cuantitativo porque se basó en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con tiempos de producción, costos operativos, dimensiones de diseño, esfuerzos mecánicos y resultados financieros, ya dichos datos permitieron medir objetivamente el impacto del diseño propuesto y validar su viabilidad técnica y económica mediante simulaciones, cálculos estructurales y evaluaciones de rentabilidad.

Fue de diseño no experimental porque no se manipularon variables de forma directa ni se realizaron pruebas en un entorno controlado. En lugar de ello, se observó y analizó la realidad existente en la empresa, como su proceso productivo actual, para luego desarrollar una propuesta de solución basada en simulaciones y cálculos técnicos.

### **3.2. Población y muestra**

La población estuvo conformada por todas las planchas metálicas pertenecientes a la empresa metalmecánica Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L.

La muestra estuvo conformada por una plancha metálica de 25 mm de espesor perteneciente a la empresa metalmecánica Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L.

### 3.3. Hipótesis

La productividad mejora positivamente en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L mediante el diseño de una máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor.

### 3.4. Variables – Operacionalización

**Variable independiente: Máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor**

Proceso de concepción y planificación de un equipo industrial que se emplea para deformar materiales metálicos, especialmente láminas, en formas curvas o cilíndricas. Este proceso abarca la definición de las especificaciones del producto final, la selección de componentes y materiales adecuados, el diseño detallado de la estructura y los mecanismos de la máquina, así como el desarrollo de los sistemas eléctricos y de control necesarios (Estrada, 2023).

**Variable dependiente: Productividad**

Viene a ser la medida económica donde se calculan los bienes y servicios que han sido producidos por cada factor empleado (trabajador, tiempo, capital, tierra, tubos, etcétera) en un tiempo determinado de tiempo (Sevilla, 2016).

**Tabla 1**

*Cuadro de Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente  Máquina roladora computarizada de plancha hasta 25 mm de espesor	Proceso de concepción y planificación de un equipo industrial que se emplea para deformar materiales metálicos, especialmente láminas, en formas curvas o cilíndricas. Este proceso abarca la definición de las especificaciones del producto final, la selección de componentes y materiales adecuados, el diseño detallado de la estructura y los mecanismos de la máquina, así como el desarrollo de los sistemas eléctricos y de control necesarios (Estrada, 2023).	El diseño de la máquina roladora dependerá de los requerimientos de la empresa y de las propiedades del material a rolar, ya que de aquí parte todo el diseño para los componentes que conformarán la máquina roladora.	Parámetros de diseño	- Fuerza - Momento flexionante - Transmisión de potencia - Esfuerzos	Razón
			Presupuesto	- Costos por concepto de materiales - Costo por mano de obra	
			Parámetros de rentabilidad	- VAN - TIR - Retorno de la inversión	
Dependiente  Productividad	Viene a ser la medida económica donde se calculan los bienes y servicios que han sido producidos por cada factor empleado (trabajador, tiempo, capital, tierra, tubos, etcétera) en un tiempo determinado de tiempo (Sevilla, 2016).	Se determina dependiendo de la velocidad de roscado de la máquina y del diámetro de la tubería a roscar. Además de los costos operativos que conlleva realizar dicho proceso de producción.	Parámetros de productividad	- Velocidad - Espesor - Material	De razón.

Nota: Elaboración propia.

### **3.5. Métodos y técnicas de investigación**

#### **3.5.1. Métodos de investigación**

El método de investigación empleado fue el método analítico, ya que permitió descomponer y examinar de manera detallada el proceso productivo actual de la empresa mediante la observación directa y el uso de instrumentos como formularios de recolección de datos. Además, se complementó con la revisión bibliográfica, utilizando fichas para recopilar información técnica y científica relevante que sustenta el diseño de la máquina roladora, incorporando teoría y práctica en una propuesta fundamentada.

#### **3.5.2. Técnicas de investigación**

##### **Observación directa**

Dicha técnica permite recolectar información importante sobre el proceso productivo de la empresa, para poder responder al primer objetivo específico planteado.

##### **Revisión bibliográfica**

Dicha técnica permite recolectar información importante sobre el diseño de máquinas roladoras computarizadas en fuentes confiables como bases de datos, revistas indexadas como Scopus, Web of Science, Proquest, Scielo, Science Direct, de modo que, al momento de efectuar los cálculos, se realicen adecuadamente de manera que permitan efectuar el modelado en el software CAD/CAE a emplear.

### **3.6. Descripción de los instrumentos utilizados**

#### **Formulario de recolección de datos**

Este instrumento se alinea con la técnica observación directa, ya que se complementa para poder obtener los datos importantes del proceso productivo de la empresa, para extraer tiempos, costos, producción, entre

otros parámetros que permitan responder al primer objetivo específico planteado.

### **Ficha bibliográfica**

Este instrumento se alinea con la técnica de revisión bibliográfica, ya que se complementa, permitiendo recolectar la información importante para posteriormente usarla para elaborar los antecedentes, marco teórico, cálculos, análisis de rentabilidad, entre otros aspectos, siendo bastante importante al momento de realizar el estudio.

### **3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos**

Para el análisis estadístico e interpretación de los datos, se recurrió a herramientas descriptivas como promedios, porcentajes y tablas comparativas, que permitieron organizar y resumir la información recolectada sobre tiempos, costos y parámetros técnicos del proceso productivo. Estos datos fueron interpretados de manera objetiva, facilitando la identificación de oportunidades de mejora y la validación cuantitativa de la propuesta de diseño, en función de su impacto en la eficiencia y rentabilidad de la empresa.

## **CAPÍTULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

La propuesta de investigación se centró en el diseño de una máquina roladora computarizada para planchas metálicas de hasta 25 mm de espesor, con el objetivo de mejorar la productividad en la empresa Fabricación y Montaje Estructural A&E S.R.L., dedicada a la fabricación de estructuras metálicas. La necesidad surgió debido a las limitaciones que presentaban los métodos de rolado tradicionales empleados en la empresa, los cuales requerían tiempos prolongados, altos costos y una fuerte dependencia de procesos externos que afectaban la eficiencia operativa.

Para desarrollar esta propuesta, en primer lugar, se analizó el proceso productivo actual mediante observación directa y recolección de datos mediante formularios, lo que permitió identificar cuellos de botella, tiempos improductivos y costos innecesarios. A partir de esa información, se propuso el diseño de una máquina que respondiera específicamente a los requerimientos técnicos de la empresa, con un enfoque en la automatización y el control computarizado para garantizar precisión, rapidez y seguridad en el rolado de planchas.

Se procedió luego a dimensionar los componentes mecánicos y electromecánicos necesarios, tomando en cuenta factores como la capacidad de carga, el tipo de material a trabajar y las condiciones de operación. Con ayuda de software CAD/CAE se desarrollaron simulaciones que permitieron validar el diseño desde el punto de vista estructural, analizando esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en cada uno de los elementos. Este análisis fue fundamental para asegurar la viabilidad técnica del proyecto antes de su posible implementación física.

Finalmente, se elaboró un estudio económico detallado que incluyó la estimación de costos de fabricación, así como el cálculo de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión (Payback). Los resultados mostraron que la propuesta no solo era técnicamente factible, sino también económicamente rentable para la empresa.

## CAPÍTULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Descripción del proceso productivo actual en la empresa electromecánica

Actualmente se maneja un proceso ya definido al momento de ejecutar cualquier proceso productivo en la empresa electromecánica, el mismo que se describe en la Tabla 2, donde se puede verificar que la primera fase es por el área de Diseño e Ingeniería, la segunda fase corresponde a la preparación del material, la tercera fase corresponde al maquinado de piezas, la cuarta fase corresponde al proceso de rolado de las planchas, la quinta fase viene a ser el proceso de soldadura y ensamblaje, la sexta fase representa la inspección y control de calidad de las piezas fabricadas, y la séptima y última fase corresponde a trabajos de acabado.

**Tabla 2**

*Descripción del proceso productivo en la empresa metalmecánica*

<b>Fase</b>	<b>Descripción del proceso productivo</b>
Primera	Ingeniería y diseño
Segunda	Preparación de los materiales
Tercera	Maquinado de las piezas
Cuarta	Proceso de rolado
Quinta	Soldadura y Ensamblaje
Sexta	Control de calidad e inspección
Séptima	Trabajos de acabado

Nota: Elaboración propia.

Para conocer más a detalle cada fase, se realiza una descripción a continuación:

##### **a) Ingeniería y diseño**

En esta fase se realiza el desarrollo de los planos como de las especificaciones técnicas de los elementos, contando con un grupo de

ingenieros y diseñadores que operan en conjunto para brindar la seguridad de que los planos cumplen con los requerimientos estipulados por el cliente además de la normativa vigente nacional e internacional de ser el caso. Generalmente el tiempo tiende a variar dependiendo de la complejidad y magnitud del trabajo solicitado. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.80,00.

Tiempo promedio: 72 horas.

Costo promedio: S/.5760,00.

### ***b) Preparación de los materiales***

En esta fase se realiza la selección además de la preparación de los materiales o materias primas necesarias para su la posterior fabricación de la estructura o trabajo a realizar, donde se incluye el revisado y cumplimiento de las especificaciones técnicas solicitadas por el cliente y la normativa vigente, además de los cortes requeridos para obtener las dimensiones adecuadas. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.70,00.

Tiempo promedio: 15 horas.

Costo promedio: S/.1050,00.

### ***c) Maquinado de las piezas***

En esta fase, se maquinan las piezas requeridas de acuerdo a los requerimientos y especificaciones para un adecuado diseño, donde se puede incluir proceso de taladrado, proceso de moldeado, proceso de corte adicional, con el fin de obtener las piezas correctas antes del proceso de soldadura y ensamblaje. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.75,00.

Tiempo promedio: 15 horas.

Costo promedio: S/.1125,00.

#### ***d) Proceso de rolado***

En esta fase, la empresa realiza la tercerización de dicho trabajo o proceso de rolado, donde las piezas a rolar se envían a una empresa externa para su posterior procesamiento. Aquí se incluye el transporte tanto ida y regreso de las piezas, con el proceso de rolado como tal, además de la inspección respectiva para corroborar que el trabajo estuvo bien ejecutado. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.90,00.

Tiempo promedio: 36 horas (Se incluye transporte además de tiempos muertos).

Costo promedio: S/.3240,00.

#### ***e) Soldadura y ensamblaje***

En esta fase se realiza el proceso de soldadura y ensamblaje de las piezas que previamente fueron preparadas para tal fin, de manera que se pueda formar una estructura estable, completa y cumpliendo con la rigidez, dureza y demás especificaciones necesarias que permitan dar la seguridad de un diseño adecuado, donde se emplean técnicas de soldadura especializadas que permitan asegurar la integridad del ensamblaje como de la estructura. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.80,00.

Tiempo promedio: 24 horas.

Costo promedio: S/.2400,00.

#### ***f) Control de calidad e inspección***

Una vez finalizada la fase de soldadura y ensamblaje, se procede con la fase de control de calidad e inspección, donde la estructura o trabajo es inspeccionado para verificar que se ha cumplido con los requerimientos y especificaciones técnicas solicitadas, además de cumplir con la calidad asegurada, para ello se efectúan pruebas y los ajustes necesarios para

corroborar la calidad del producto. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.80,00.

Tiempo promedio: 12 horas.

Costo promedio: S/.960,00.

### **g) Trabajos de acabado**

En esta fase, la estructura es sometida a procesos de acabados finales, como recubrimiento y/o pintura, que permitan la protección contra la corrosión además de brindarle un acabado estético adecuado. El costo promedio por hora asociado para esta fase es de S/.75,00.

Tiempo estimado: 12 horas.

Costo estimado: S/.900,00.

En la Tabla 3 se puede observar el resumen de los tiempos con los costos asociados a cada fase del proceso productivo.

**Tabla 3**

*Resumen de tiempo y costo promedio de cada fase del proceso productivo*

<b>Descripción proceso productivo</b>	<b>Tiempo promedio</b>	<b>Costo promedio</b>
Ingeniería y diseño	72 h	S/.5760,00
Preparación de los materiales	15 h	S/.1050,00
Maquinado de las piezas	15 h	S/.1125,00
Proceso de rolado	36 h	S/.3240,00
Soldadura y ensamblaje	24 h	S/.2400,00
Control de calidad e inspección	12 h	S/.960,00
Trabajos de acabado	12 h	S/.900,00
<b>Total</b>	<b>186 h</b>	<b>S/.15435,00</b>

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 3 muestra el resumen de tiempo y costo de cada fase del proceso productivo, donde se obtiene un tiempo total de 186 horas, con un costo promedio de S/.15435,00; con un costo promedio por hora de S/.83,00.

## **Descripción del proceso de rolado (empresa externa)**

Como la investigación se enfatiza el proceso de rolado, se hizo un análisis más detallado de dicha fase, ya que viene a ser realizado por una empresa externa o tercera, donde se ha considerado tiempos y costos promedios, incluyéndose conceptos de transporte, tiempos muertos además de cuellos de botella. Dicha fase de proceso de rolado que es efectuado por una empresa tercera incluye:

### *Preparación interna del material*

Se realiza la identificación, selección y preparación del material que es enviado para rolado, que incluye la verificación de especificaciones técnicas, limpieza de superficies y embalaje adecuado para su manipulación y transporte seguro.

### *Logística de envío a la empresa de rolado*

El material es cargado cuidadosamente y transportado a las instalaciones del proveedor externo encargado del proceso de rolado, donde se consideran factores como rutas, tiempos estimados y condiciones de manejo para evitar daños durante el trayecto.

### *Proceso de rolado por terceros*

La empresa subcontratada ejecuta el proceso de rolado conforme a los requerimientos técnicos establecidos, incluyendo la programación del trabajo, ejecución del rolado y control de calidad preliminar por parte del proveedor.

### *Retorno del material rolado*

Tras la finalización del rolado, el material es preparado para su retorno, y se coordina el transporte de regreso a la planta de origen, asegurando condiciones óptimas de protección y tiempos de entrega definidos.

### *Recepción, inspección y ajustes finales*

Una vez recibido el material rolado, se realiza una inspección detallada para validar dimensiones, geometría y calidad superficial, que, en caso de desviaciones menores, se ejecutan los ajustes correctivos necesarios antes de su integración al proceso productivo.

### *Gestión de tiempos muertos y cuellos de botella*

A lo largo del proceso pueden generarse demoras, como esperas en la programación del proveedor, retrasos logísticos o interrupciones internas, además se identifican y gestionan estos tiempos muertos y cuellos de botella con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa y minimizar impactos en la cadena de producción.

## **Tiempos y costos de ejecución de trabajo**

Para organizar y presentar los tiempos y costos promedios de ejecución, se elaboró la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Resumen de tiempo y costo promedio para cada proceso de la etapa de rolado*

<b>Proceso de Rolado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo promedio</b>	<b>Costo promedio</b>
Preparación interna del material	Selección y preparación del material	4 h	S/.360,00
Logística de envío a la empresa de rolado	Carga y transporte del material (ida)	5 h	S/.450,00
Proceso de rolado por terceros	Proceso de rolado en la empresa contratada	9 h	S/.810,00
Retorno del material rolado	Transporte del material rolado (vuelta)	6 h	S/.540,00
Recepción, inspección y ajustes finales	Inspección y ajustes del material rolado	4 h	S/.360,00
Gestión de tiempos muertos y cuellos de botella	Esperas y retrasos acumulados	8 h	S/.720,00
<b>Total</b>		<b>36 h</b>	<b>S/.3240,00</b>

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 4 se logró obtener que el costo total del proceso de rolado realizado por tercerización logra alcanzar la cantidad de S/.3240,00;

encareciendo los costos debido a transporte de ida y vuelta del material a la empresa donde se realiza el trabajo solicitado, además de los tiempos muertos y cuellos de botella.

### **5.1.2. Dimensionamiento de los elementos de máquina y electromecánicos que conforman la máquina roladora computarizada**

#### **Espesor máximo**

Ya que la empresa se dedica principalmente al trabajo con planchas metálicas de hasta 1 pulgada de grosor, se definió que la capacidad de rolado de la máquina debía alcanzar ese límite, es decir, 25 mm. Esta medida fue elegida porque es la que más suelen pedir los clientes en los distintos trabajos que se realizan.

$$e_p = 25,00 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$$

#### **Nivel de voltaje**

La empresa metalmecánica recibe energía eléctrica por parte de la concesionaria, con suministro de 380 V en trifásico y 220 V en monofásico. Por esa razón, es necesario tener en cuenta motores eléctricos que trabajen con esos niveles de voltaje, para asegurar que el equipo funcione correctamente y no haya problemas de compatibilidad con la red eléctrica disponible.

$$V_{trifásico} = 380 \text{ V}$$

$$V_{monofásico} = 220 \text{ V}$$

#### **Capacidad de rolado**

Según la información brindada por la empresa metalmecánica, se entregó la ficha técnica de las planchas que se usan en el proceso de rolado (ver Anexo 2). Estas planchas son de acero de alta resistencia y tienen una longitud máxima de 2,40 metros, lo cual define el ancho máximo que podrá trabajar la máquina. Las dimensiones completas de la plancha son 2,40 m

de ancho por hasta 6 m de largo con un espesor máximo de 1 pulgada, o sea, 25 mm, como se indica en la Tabla 5.

Longitud del largo de la plancha:

$$L_p = 6 \text{ m}$$

Longitud del ancho de la plancha:

$$A_p = 2,40 \text{ m}$$

**Tabla 5**

*Medidas estándar utilizadas en las planchas metálicas*

Dimensiones	Peso teórico (kg/plancha)		Tolerancia en el espesor (mm) ±	Espesor equivalente o aproximado
	1,200 x 2,400 mm	1,200 x 6,000 mm		
1.50	33.91		0.18	1/16"
1.80	40.69		0.19	9/128"
1.90	42.96		0.19	9/128"
2.00	45.22	113.04	0.20	5/64"
2.30	52.00	130.00	0.20	1/11"
2.40	54.26	135.65	0.20	3/32"
2.50	56.52	141.30	0.22	3/32"
2.90	65.56	163.91	0.22	1/8"
3.90	88.17	220.43	0.24	5/32"
4.40	99.48	248.69	0.45	3/16"
5.90	133.39	333.47	0.50	¼"
8.00	180.86	452.16	0.55	5/16"
9.00	203.47		0.55	3/8"
12.00	271.30		0.55	½"
16.00	361.73		0.65	5/8"
20.00	452.16		0.65	¾"
25.00	565.20		0.70	1"
32.00	723.46		0.70	1 ¼"
38.00	859.10		0.70	1 ½"
50.00	1,130.40		0.80	2"
63.00	1,424.30		0.90	2 ½"
75.00	1,695.60		0.90	3"
100.00	2,260.80		1.30	4"
150.00	3,391.20		1.30	6"

Nota: Ficha técnica brindada por empresa metalmecánica.

## Resistencia de la plancha metálica

Según lo que se muestra en la Tabla 5, el material tiene un límite de fluencia que varía entre 205 y 340 MPa, por ende, para poder realizar un diseño más equilibrado de la máquina roladora, se optó por promediar dichos valores, obteniendo una media de 272,50 MPa. Este valor permitió establecer parámetros adecuados para asegurar el funcionamiento correcto del equipo sin comprometer la resistencia del sistema.

Esfuerzo de fluencia:

$$\sigma_{fluencia} = 272,50 \text{ MPa}$$

**Tabla 6**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A 1011/A 1011M CS*

Norma Técnica	Tipo	Límite de fluencia (MPa)	Carga de rotura (MPa)	Elongación (%) $\geq$
ASTM A 1011/A 1011M CS	B	205 – 340	-	25 (2")

Nota: Ficha técnica brindada por empresa metalmecánica.

## Velocidad de rotación para rolado

Al buscar información sobre este parámetro, se encontró que Tecno Maquinaria (2024) emplea una velocidad de rotación de 12 rpm en su máquina roladora, teniendo:

$$n_{rodillo} = 12 \text{ rpm}$$

## Vida útil para la máquina roladora

La máquina roladora está diseñada para funcionar 8 horas diarias, durante un promedio de 320 días anuales, esperando que opere por un periodo de 20 años. Con dichos datos, se calculó que la vida útil total en horas sería de:

$$Vida_{\text{útil}} = 8 \frac{h}{\text{día}} \times 320 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 20 \text{ años}$$

$$Vida_{\text{útil}} = 54440 \text{ h}$$

## Dimensionado de los elementos de máquina

A continuación, se procedió a efectuar los cálculos necesarios para poder elegir de manera adecuada los componentes mecánicos que conforman la máquina roladora. Este paso fue clave para asegurar que cada elemento cumpla con las exigencias del trabajo y se adapte a las condiciones operativas previstas.

### Diámetro de los rodillos

El radio de curvatura correspondiente para la plancha de 6 metros fue determinado en base a las características del material y las condiciones de trabajo previstas. Este valor representa el mínimo radio con el que se puede realizar el rolado sin comprometer la integridad de la plancha ni generar deformaciones no deseadas durante el proceso:

$$L_p = \frac{\pi R_{curv}}{2}$$

Al despejar se logra obtener la expresión:

$$R_{curv} = \frac{2 L_p}{\pi}$$

Al sustituir la información pertinente:

$$R_{curv} = \frac{(2)(6 \text{ m})}{\pi}$$

$$R_{curv} = 3,82 \text{ m}$$

Para determinar la longitud de contacto, se emplea la expresión matemática:

$$L_{cont} = \sqrt{R_{curv} e_p}$$

$$L_{cont} = \sqrt{(3,82 \text{ m})(0,025 \text{ m})}$$

$$L_{cont} = 0,309 \text{ m}$$

Después se procedió a calcular la fuerza necesaria para el proceso de rolado, tomando como referencia un valor de “K” igual a 1,05, según lo recomendado por Alexander (1972), lo cual permite asegurar un diseño adecuado para la máquina roladora. A partir de este criterio, se obtuvieron los resultados correspondientes que sirvieron como base para definir los parámetros de funcionamiento del equipo:

$$F_{roladora} = \frac{K L_{cont} A_p e_p \sigma_{fluencia}}{2 R_{curv}}$$

Reemplazando los datos necesarios:

$$F_{roladora} = \frac{(1,05)(0,309 \text{ m})(2,40 \text{ m})(0,025 \text{ m})(272,50 \text{ MPa})}{2(3,82 \text{ m})}$$

$$F_{roladora} = 694409,07 \text{ N}$$

$$F_{roladora} = 694,409 \text{ kN}$$

Al momento de calcular el diámetro del rodillo superior tomando en cuenta la fuerza de rolado, se consideró que esta actúa como una carga distribuida sobre el rodillo. Dado que no se dispone del dato exacto del diámetro, se decidió incluir el peso propio del material en el análisis, que para compensar esta falta de información y asegurar que el diseño sea confiable, se aplicó un factor de seguridad adicional del 25% sobre la carga estimada. Con esto, se pudo continuar con el dimensionamiento del rodillo de forma más conservadora y segura:

$$W_{rod.superior} = 1,25 \frac{F_{roladora}}{A_p}$$

$$W_{rod.superior} = 1,25 \left( \frac{694,409 \text{ kN}}{2,40 \text{ m}} \right)$$

$$W_{rod.superior} = 361,6714 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Se procedió a representar gráficamente la carga distribuida que actúa sobre el rodillo superior, considerando su comportamiento estructural. Para ello, se utilizó el software MDSolids, el cual permitió obtener las gráficas correspondientes de fuerza cortante y momento flexionante, facilitando el análisis del esfuerzo interno generado en el rodillo durante el proceso de rolado.

De la Figura 3, respecto a los resultados obtenidos de MDSolids, se obtuvieron las reacciones en los apoyos además del momento flector máximo, que se detallan seguidamente:

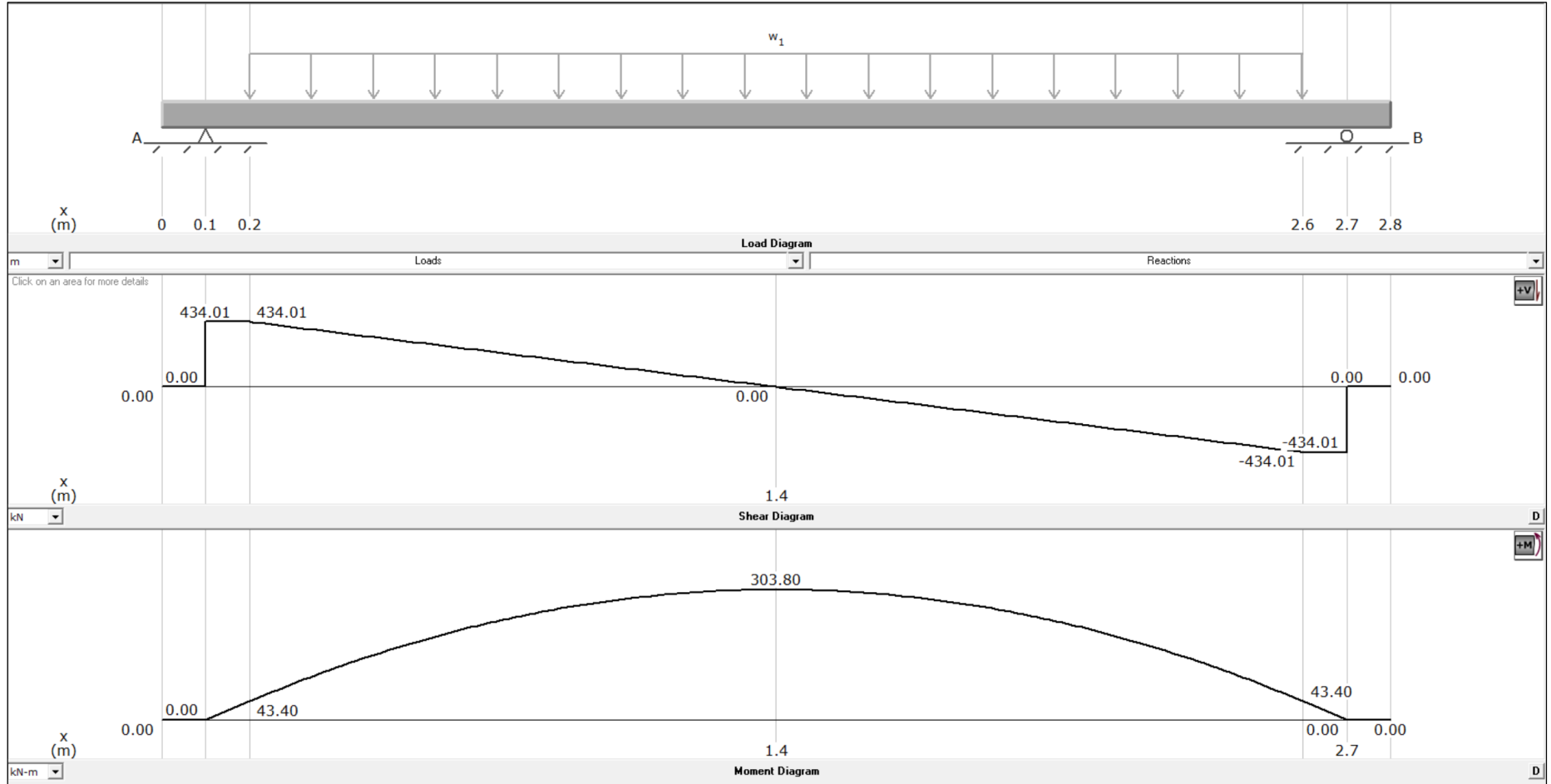
$$R_A = 434,006 \text{ kN}$$

$$R_B = 434,006 \text{ kN}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 303,80 \text{ kN.m}$$

**Figura 3**

*Esquema de carga cortante y momento flexionante en el rodillo superior de la máquina roladora*



Nota: Obtenida de MDSolids v3.5.

Con la información disponible, se pasó a calcular el diámetro del componente, tomando como base el uso de acero AISI 4340 en estado recocido, siendo elegido por ser una opción económica que ofrece un buen equilibrio entre propiedades mecánicas y precio. Además, brinda buena resistencia y tenacidad, superando en comportamiento frente a fatiga a los aceros al carbono comunes. Por esa razón, se consideró su límite de fluencia, que es de aproximadamente 460 MPa, como referencia para el diseño estructural del rodillo.

$$\sigma_y = 460 \text{ MPa}$$

Al momento de calcular el diámetro del eje en sus extremos, se consideró un coeficiente de seguridad igual a 3 para garantizar la resistencia estructural frente a las cargas aplicadas. Con este criterio, el esfuerzo cortante de diseño quedó limitado a un valor que asegura que el eje no falle bajo condiciones normales de trabajo, manteniendo un margen adecuado frente a posibles sobrecargas o variaciones en el proceso de rolado:

$$\sigma_{adm} = \tau_{adm} = \frac{\sigma_y}{F_{seguridad}}$$

$$\sigma_{adm} = \tau_{adm} = \frac{460 \text{ MPa}}{3} = 153,33 \text{ MPa}$$

Entonces, el diámetro por esfuerzo cortante es:

$$d_A = d_B = \sqrt{\frac{4 R_A}{\pi \tau_{diseño}}}$$

$$d_A = d_B = \sqrt{\frac{4 (434,005 \times 10^3 \text{ N})}{\pi (153,33 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}}$$

$$d_A = d_B = 0,06 \text{ m} \approx 0,07 \text{ m}$$

$$d_A = d_B = 0,07 \text{ m}$$

Es importante señalar que, según lo indicado por Budynas y Nisbett (2012), se recomienda que el rodillo sea de tipo hueco para mejorar el proceso de rolado, ya que esto facilita el doblado de las planchas metálicas. Además, se sugiere que el diámetro interno del rodillo se encuentre entre el 60% y el 80% del diámetro externo, con el fin de lograr un buen balance entre resistencia estructural y reducción de peso. En este caso, se decidió trabajar con el 60% como referencia, por lo que se procedió a calcular los diámetros correspondientes tomando en cuenta dicho criterio:

$$\frac{\pi}{4}(D_{ext}^2 - D_{int}^2) = A_{eje}$$

Donde:

$$D_{ext} = D$$

$$D_{int} = 0,70D$$

Al sustituir:

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - (0,70D)^2) = \frac{\pi(0,07 \text{ m})^2}{4}$$

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - 0,49D^2) = 0,003848451 \text{ m}^2$$

$$\frac{\pi}{4}(0,51D^2) = 0,003848451 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0,003848451 \text{ m}^2)}{\pi(0,51)}}$$

$$D = 0,098 \text{ m} \approx 0,10 \text{ m}$$

Entonces:

$$D_{ext} = D = 0,10 \text{ m}$$

$$D_{int} = 0,70(0,10 \text{ m}) = 0,07 \text{ m}$$

Ahora, se realiza el cálculo utilizando el máximo momento flexionante, aplicando la fórmula:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{m\acute{a}x} D_{ext}}{2I}$$

Donde:

$$I = \frac{\pi D_{ext}^4}{64} - \frac{\pi D_{int}^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4)$$

Despejando:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{m\acute{a}x} D_{ext}}{2 \left[ \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4) \right]}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 M_{m\acute{a}x} D}{\pi (D^4 - (0,70D)^4)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 M_{m\acute{a}x} D}{\pi (D^4 - 0,2401D^4)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{32 M_{m\acute{a}x}}{\pi (0,7599D^3)}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 M_{m\acute{a}x}}{0,7599 \pi \sigma_{adm}}}$$

Reemplazando los datos:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32(303,80 \times 10^3 \text{ Nm})}{0,7599 \left( 153,33 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) (\pi)}}$$

$$D = 0,2984$$

$$D \approx 0,30 \text{ m}$$

Entonces, el diámetro exterior e interior es:

$$D = D_{ext} = 0,30 \text{ m}$$

$$D_{int} = 0,70(0,30 \text{ m})$$

$$D_{int} = 0,21 \text{ m}$$

De acuerdo al cálculo por flexión, el diámetro exterior debe tener un valor de 0,30 m y el interior debe ser de 0,21 m.

### **Selección de rodamientos para eje de rodillos**

En esta etapa se procedió a elegir los rodamientos para cada punto de apoyo, siguiendo la metodología propuesta por SKF (2019). Dado que la carga que se maneja en el sistema es considerablemente elevada, se consideró utilizar rodamientos de rodillos a rótula, ya que tienen la capacidad de soportar elevadas cargas y además se adapta bien a posibles desalineaciones. A partir de esta selección, se definieron las características técnicas necesarias para garantizar un buen desempeño en el funcionamiento de la máquina roladora. Obteniendo:

$$F_{radial} = F_r = R_A = 434,005 \text{ kN}$$

$$F_{axial} = F_{ax} = 0 \text{ kN}$$

En primer lugar, se determinó lo siguiente:

$$\frac{F_{ax}}{F_r} = \frac{0 \text{ kN}}{434,005 \text{ kN}} = 0$$

Luego se hizo la comparación entre la relación obtenida al dividir la carga axial entre la carga radial, la cual se asumió que es menor al valor de “e”. Por esa razón, se aplicó la expresión correspondiente para dicho caso, siguiendo los criterios establecidos en la metodología mencionada. Esta expresión permitió calcular la carga equivalente dinámica que es utilizada en el análisis de vida útil y desempeño del rodamiento bajo condiciones reales de trabajo:

$$P = F_r$$

$$P = 434,005 \text{ kN}$$

Tomando en cuenta los parámetros establecidos anteriormente:

$$n_{rod.superior} = 12 \text{ rpm}$$

$$p = 3$$

A continuación, se tomó en cuenta que los rodamientos seleccionados debían garantizar una vida útil de 54,440 horas. Por ello, fue necesario realizar los cálculos correspondientes para verificar que cumplan con dicha exigencia, considerando las condiciones reales de carga, velocidad y tipo de operación. Obteniéndose lo siguiente:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n_{rod.superior}} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Despejando la fórmula anterior:

$$C = P \sqrt[3]{\frac{60 n_{rod.superior} L_{10h}}{10^6}}$$

Sustituyendo la información:

$$C = 434,005 \text{ kN} \sqrt[3]{\frac{(60)(12 \text{ rpm})(54440 \text{ h})}{10^6}} = 1474,274 \text{ kN}$$

Seleccionando dos rodamientos SKF 23952 CC/W33 de 260 mm de diámetro interior, con parámetros:

$$C = 1055 \text{ kN}$$

$$C_o = 1800 \text{ kN}$$

$$e = 0,18$$

Reemplazando los datos:

$$L_{10h} = \left( \frac{10^6}{60(12 \text{ rpm})} \right) \left( \frac{2(1055 \text{ kN})}{434,005 \text{ kN}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 159599,19 \text{ h}$$

Dado que se logró cumplir e incluso superar el requisito de vida útil de 54440 horas, se procedió con la selección de dos rodamientos SKF 23952 CC/W33 (Figura 4). Dichos rodamientos cuentan con un diámetro interior de 260 mm, ancho de 75 mm y diámetro exterior de 360 mm, siendo asignados para cada punto de apoyo donde no es posible retirar las planchas una vez roladas, así como también para los rodillos inferiores, asegurando así un soporte robusto y confiable en las zonas críticas del sistema.

#### Figura 4

Rodamiento SKF 23952 CC/W33



Fuente: Catálogo SKF 2019.

#### Potencia del motor eléctrico

Calculando el torque:

$$T_{maq.roladora} = F_{roladora} \frac{d_A}{2}$$

$$T_{maq.roladora} = (694,409 \text{ kN}) \left( \frac{0,30 \text{ m}}{2} \right)$$

$$T_{maq.roladora} = 104,16135 \text{ kNm}$$

La potencia del motor es:

$$P_{mot.roladora} = T_{maq.roladora} n_{rod}$$

$$P_{mot.roladora} = (104,16135 \text{ kNm}) \left( \frac{12(2\pi \text{ rad})}{60 \text{ s}} \right)$$

$$P_{mot.roladora} = 130,893 \text{ kW}$$

Tomando en cuenta una eficiencia del 90% para el sistema de transmisión con engranajes de dientes rectos, según lo indicado por Baldissera et al. (2024), se determinó que el motor debía contar con una potencia suficiente para compensar las pérdidas mecánicas del sistema. A partir de este criterio, se calculó la potencia requerida del motor, asegurando que pueda transmitir el esfuerzo necesario para el proceso de rolado sin comprometer el rendimiento general del equipo:

$$P_{mot.corregida} = \frac{P_{mot.roladora}}{\eta_{mot.transm}}$$

$$P_{mot.corregida} = \frac{130,893 \text{ kW}}{0,90}$$

$$P_{mot.corregida} = (145,437 \text{ kW}) \left( \frac{1 \text{ HP}}{0,746 \text{ kW}} \right)$$

$$P_{mot.corregida} = 194,956 \text{ HP}$$

Por ende, se seleccionó un motor de W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency 200 HP 6P 445/7T 3F 460 V 60 Hz IC411 - TEFC y sus datos técnicos se adjuntaron en el Anexo 3. La Figura 5 muestra dicho motor.

### Figura 5

*Motor WEG W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency 200 HP 8 P*



Fuente: Catálogo WEG.

## Sistema de transmisión

Se optó por utilizar un sistema de transmisión mediante engranajes de dientes rectos, dado que presentan un costo accesible, requieren poco mantenimiento y ofrecen una eficiencia operativa que oscila entre el 90% y el 95%. Como primer paso, se definió el factor de sobrecarga en función de la fuente de potencia y del tipo de máquina a accionar. En este caso, se consideró una fuente de potencia uniforme, al tratarse de un motor eléctrico, y una condición de choque ligero, ya que se trata de una máquina roladora. Por lo tanto, se seleccionó un valor de 1,25 como factor de sobrecarga, según lo establecido en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Recomendación del factor de sobrecarga para engranajes*

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

Nota: Obtenida de Mott (2006).

En base a la metodología propuesta por Mott (2006), se procedió a calcular la potencia de diseño requerida para la máquina roladora. Dicho enfoque permitió considerar tanto las condiciones de carga como los factores de sobrecarga y eficiencia del sistema de transmisión.

$$P_{diseño.transm} = K_s P_{mot.corregida}$$

$$P_{diseño.transm} = (1,25)(145,437 \text{ kW})$$

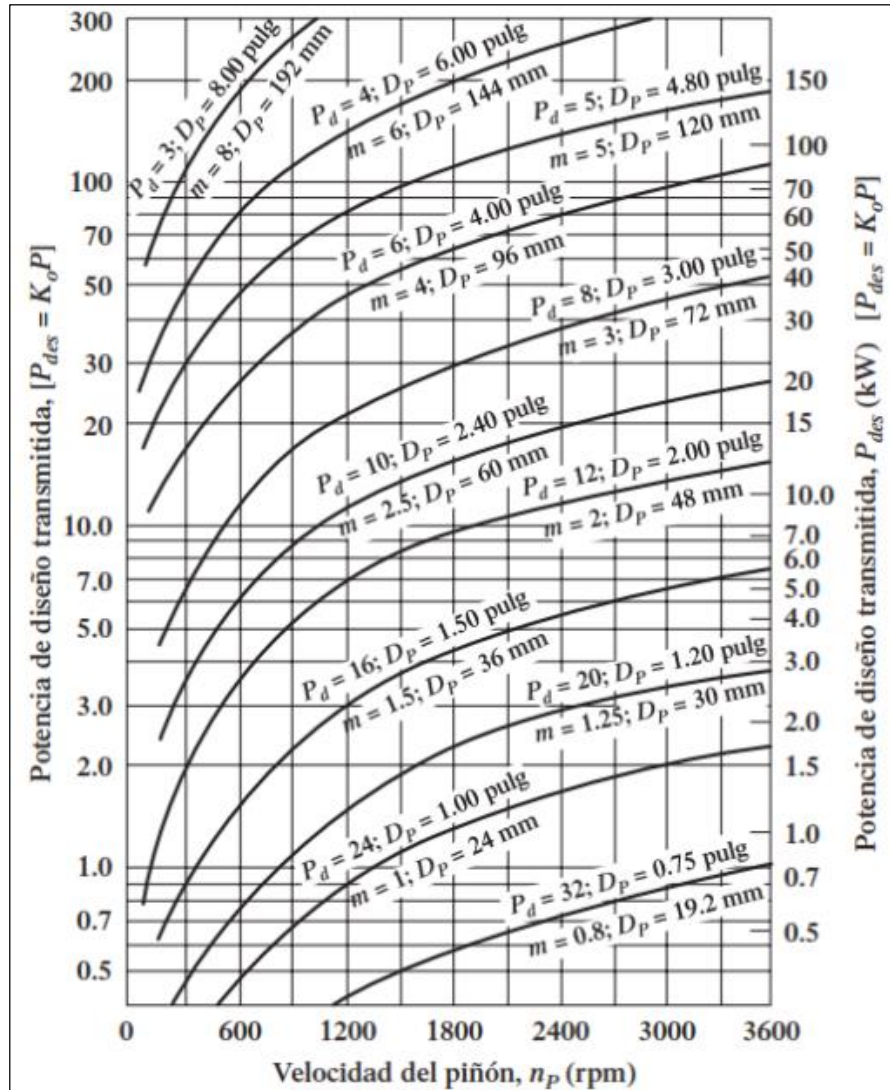
$$P_{diseño.transm} = 181,80 \text{ kW}$$

Con base en la Figura 6 y considerando tanto la potencia de diseño como la velocidad de rotación del motor seleccionado, se considero utilizar un paso diametral de 3 para el diseño de los engranajes del sistema de transmisión. Esta elección permitió establecer una relación adecuada entre tamaño, resistencia y eficiencia mecánica, asegurando que los engranajes

puedan transmitir la potencia requerida sin comprometer la integridad del sistema ni elevar innecesariamente los costos de fabricación.

**Figura 6**

*Gráfica para seleccionar el paso diametral*



Nota: Obtenida de Mott (2006).

Respecto al número de dientes a emplear en el piñón, se tomó como referencia la recomendación de Mott (2006), quien sugiere utilizar entre 17 y 21 dientes dependiendo del tipo de aplicación. En este caso particular, se optó por trabajar con 21 dientes, ya que esta configuración permite que el eje de la etapa final disponga del espacio necesario para realizar un acoplamiento adecuado.

$N_p = 21$  dientes

Seguidamente, se calculó la relación de transmisión de velocidad:

$$R_{transm} = \frac{n_{mot.roladora}}{n_{rod}}$$

$$R_{transm} = \frac{894 \text{ rpm}}{12 \text{ rpm}}$$

$$R_{transm} = 74,50$$

Dado que el valor obtenido resultó ser demasiado elevado para una transmisión directa, se consideró necesario un sistema de transmisión conformado por cinco etapas. De las cuales, cuatro se encuentran dentro de la caja portaengranajes, funcionando como etapas de reducción internas, mientras que la quinta etapa se ubica externamente, conectando el eje de salida de la caja de transmisión con el rodillo superior de la máquina roladora.

$$R_{transm.etapa} = \sqrt[5]{R_{transm}}$$

$$R_{transm.etapa} = \sqrt[5]{74,50}$$

$$R_{transm.etapa} = 2,36827$$

$$R_{transm.etapa1} = R_{transm.etapa2} = R_{transm.etapa3} = R_{transm.etapa4} = 2,36827$$

Con base en los datos obtenidos, se construyó la Tabla 8, la cual presenta de forma resumida los detalles técnicos de cada etapa de reducción. Se incluyó la cantidad de dientes estimada para el piñón y engrane, así como los valores reales utilizados. Además, se muestran las relaciones de velocidad tanto teóricas como ajustadas, junto con las velocidades de entrada y salida correspondientes en cada etapa del sistema de transmisión.

**Tabla 8***Cantidad de dientes y velocidades en cada etapa*

Etapa	Cantidad de dientes estimado		Cantidad de dientes real		Relación de velocidad		Velocidades	
	Piñón	Engranaje	Piñón	Engranaje	Calculada	Real	Inicial	Final
1era	21	49,734	21	50	2,36827	2,38095	894,00	375,48
2da	21	49,734	21	50	2,36827	2,38095	375,48	157,70
3era	21	49,734	21	50	2,36827	2,38095	157,70	66,23
4ta	21	49,734	21	50	2,36827	2,38095	66,23	27,82
5ta	21	49,734	21	50	2,36827	2,38095	27,82	11,68

Nota: Elaboración propia.

En consecuencia, se definió que cada piñón debe contar con 21 dientes y cada engrane conducido con 50 dientes, obteniéndose así una relación de velocidad real de 2,38095 y una velocidad de salida en el eje del rodillo de 11,68 rpm. Posteriormente, se procedió al cálculo del paso diametral, la distancia entre centros, la velocidad de línea de paso y la fuerza que debe ser transmitida por el sistema de engranajes.

$$P_{diam} = 3$$

$$N_{Pi} = 21 \text{ dientes}$$

$$N_{Eng} = 50 \text{ dientes}$$

$$D_{Pi} = \frac{N_{Pi}}{P_d}$$

$$D_{Pi} = \frac{21}{3}$$

$$D_{Pi} = 7 \text{ pulg} \approx 177,80 \text{ mm}$$

$$D_{Eng} = \frac{N_{Eng}}{P_d}$$

$$D_{Eng} = \frac{50}{3}$$

$$D_{Eng} = 16,667 \text{ pulg} \approx 423,33 \text{ mm}$$

$$C = \frac{(N_{Pi} + N_{Eng})}{2 P_{diam}}$$

$$C = \frac{(21 + 50)}{2(3)}$$

$$C = 11,833 \text{ pulg} \approx 300,57 \text{ mm}$$

$$v_t = \frac{\pi D_P n_{mot.roladora}}{12}$$

$$v_t = \frac{\pi(7)(890)}{12} = 1631,01 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

Carga transmitida:

$$W_{tr} = 33000 \frac{P_{mot.roladora}}{v_t}$$

$$W_{tr} = 33000 \left( \frac{200 \text{ HP}}{1631,01 \frac{\text{pies}}{\text{min}}} \right)$$

$$W_{tr} = 4046,57 \text{ lbf}$$

Calculando el ancho de cara de los engranajes:

$$F = \frac{12}{P_d}$$

$$F = \frac{12}{3}$$

$$F = 4 \text{ pulg}$$

$$F \approx 101,60 \text{ mm}$$

Empleando al acero como el material para los engranajes, el coeficiente elástico de acuerdo con la Tabla 9 es:

$$C_p = 2300$$

**Tabla 9**

*Factor para seleccionar el coeficiente elástico*

Material del piñón	Módulo de elasticidad, $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa)	Material y módulo de elasticidad $E_g$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa), del engrane					
		Acero $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Hierro maleable $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro nodular $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro colado $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Bronce de aluminio $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	Bronce de estaño $16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )
Acero	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	$16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

*Fuente:* Tomado de la norma AGMA 2001-C95: *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314  
*Nota:* Relación de Poisson = 0.30; unidades de  $C_p$ : (lb/pulg<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup> o (MPa)<sup>0.5</sup>

Nota: Obtenida de Mott (2006).

Ahora, es indispensable conocer el número de calidad  $Q_v$ , entonces al emplear la Tabla 10, como se conoce la velocidad de la línea de pasom se obtiene:

$$Q_v = 9$$

**Tabla 10**

*Números de calidad AGMA recomendados*

Material del piñón	Módulo de elasticidad, $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa)	Material y módulo de elasticidad $E_g$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa), del engrane					
		Acero $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Hierro maleable $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro nodular $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro colado $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Bronce de aluminio $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	Bronce de estaño $16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )
Acero	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	$16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

*Fuente:* Tomado de la norma AGMA 2001-C95: *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*, con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314  
*Nota:* Relación de Poisson = 0.30; unidades de  $C_p$ : (lb/pulg<sup>2</sup>)<sup>0.5</sup> o (MPa)<sup>0.5</sup>

Nota: Obtenida de Mott (2006).

Determinando el factor dinámico al utilizar la Figura 7, incluyendo las fórmulas descritas respectivamente, se obtuvo que:

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{0,667}}{4}$$

$$B = \frac{(12 - 9)^{0,667}}{4} = 0,52021142$$

$$A = 50 + 56 (1 - B)$$

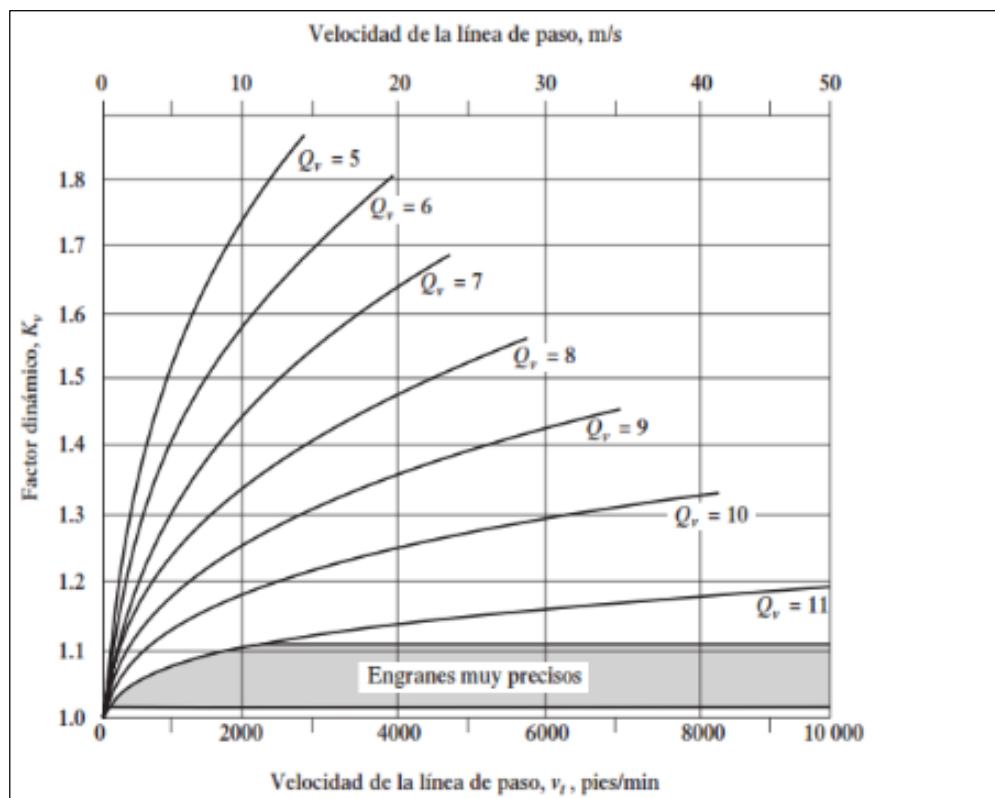
$$A = 50 + 56 (1 - 0,52021142) = 76,8681602$$

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{v_t}}{A} \right)^B$$

$$K_v = \left( \frac{76,8681602 + \sqrt{1631,01}}{76,8681602} \right)^{0,52021142} = 1,24565$$

**Figura 7**

*Curvas para determinar el factor dinámico*



Nota: Obtenida de Mott (2006).

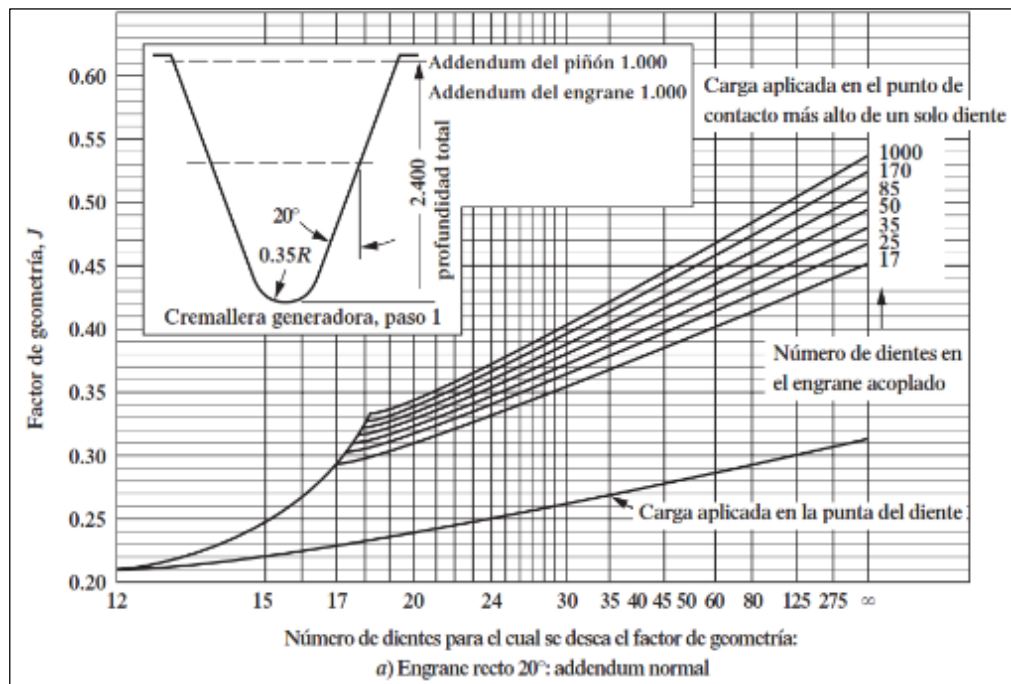
Dado que los engranajes utilizados son de dientes rectos y que el addendum tanto del piñón como del engrane es igual a 1, se recurrió a la Figura 8 para determinar el factor geométrico de flexión correspondiente para ambos elementos. Este valor es fundamental para evaluar la resistencia del perfil del diente frente a esfuerzos de flexión durante la transmisión de carga.

$$J_{Pi} = 0,33$$

$$J_{Eng} = 0,395$$

**Figura 8**

*Factor de geometría*



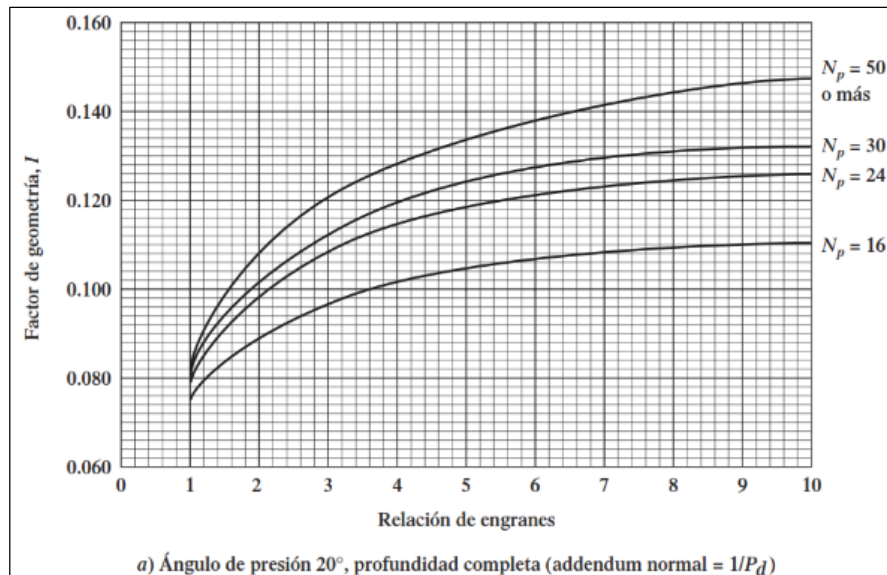
Nota: Obtenida de Mott (2006).

Además, es importante calcular el factor de geometría para picadura, mediante el uso de la Figura 9, teniendo en cuenta que los engranajes rectos poseen un ángulo de presión de  $20^\circ$ , obteniendo:

$$I = 0,091$$

**Figura 9**

Factor de geometría para piñones rectos externos



Nota: Obtenida de Mott (2006).

Aplicando la Figura 10 y Figura 11 se calculó el factor de proporción ( $K_m$ ), considerando que se fabrican como unidades comerciales cerradas de engranajes, logrando obtener:

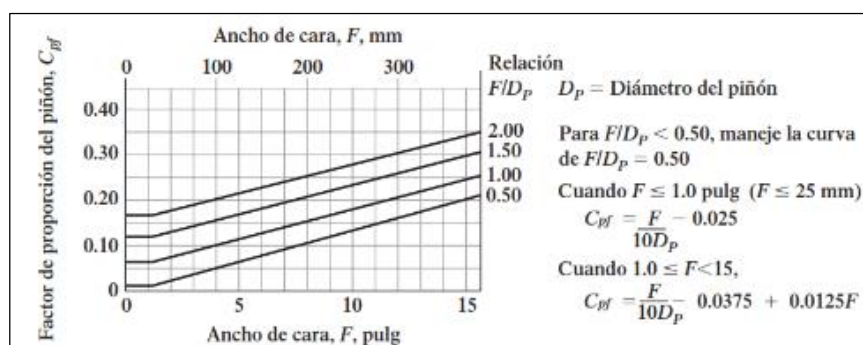
$$\frac{F}{D_{pi}} = \frac{4 \text{ pulg}}{7 \text{ pulg}} = 0,5714285$$

$$C_{pf} = \frac{F}{10 D_{pi}} - 0,0375 + 0,0125 F$$

$$C_{pf} = \frac{0,5714285}{10} - 0,0375 + 0,0125(4 \text{ pulg}) = 0,069643$$

**Figura 10**

Factor de proporción



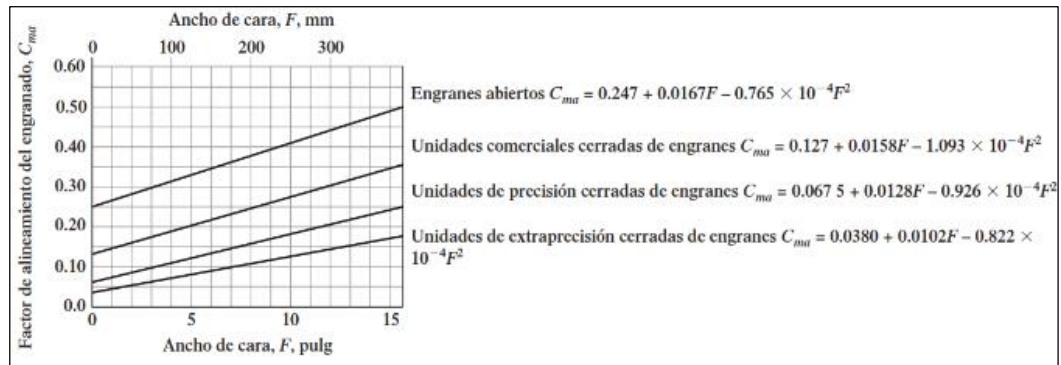
Nota: Obtenida de Mott (2006).

$$C_{ma} = 0,127 + 0,0158 F - 1,093 \times 10^{-4} F^2$$

$$C_{ma} = 0,127 + (0,0158)(4 \text{ pulg}) - (1,093 \times 10^{-4})(4 \text{ pulg})^2 = 0,188451$$

**Figura 11**

*Factor de alineamiento del engranado*



Nota: Obtenida de Mott (2006).

Reemplazando los datos respectivos, se obtuvo que el factor de distribución de carga ( $K_m$ ) es:

$$K_m = 1 + C_{pf} + C_{ma}$$

$$K_m = 1 + 0,069643 + 0,1884512 = 1,258094$$

Utilizando la Tabla 11 para calcular el factor de tamaño ( $K_s$ ), tomando en consideración que el paso diametral es de 3:

$$K_s = 1,00$$

**Tabla 11**

*Factor de tamaño sugerido*

Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

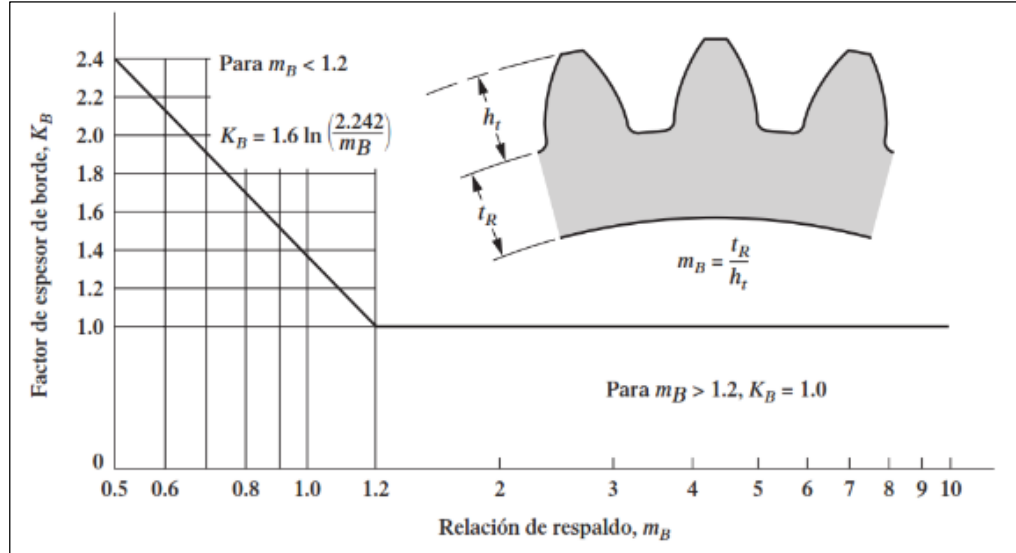
Nota: Obtenida de Mott (2006).

De la Figura 12 se especifica que el factor de espesor ( $K_B$ ), teniendo que  $m_B > 1,2$ , para que la orilla sea lo bastante fuerte para resistir al diente.

$$K_B = 1$$

**Figura 12**

Factor de espesor de borde



Nota: Obtenida de Mott (2006).

El autor Mott (2006) recomienda que el factor de servicio se encuentre entre 1 y 1,50; pero se considero emplear el valor medio, para que no se sobredimensione los engranajes.

$$f_{servicio} = 1,25$$

El factor de relación de dureza se obtiene del material empleado en el engrane y piñón, pero como el material empleado para ambos es el mismo, el factor es de:

$$C_H = 1$$

El factor para la confiabilidad, considerando una confiabilidad del 99%, empleando la Tabla 12, es de:

$$K_R = 1,00$$

**Tabla 12***Factor de confiabilidad*

Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

Nota: Obtenida de Mott (2006).

Se determinó la vida útil para el diseño, calculando el número de ciclos de carga para el sistema de transmisión por piñón y engrane. Los factores de esfuerzo por número de ciclos debido a la flexión y de picadura, para piñón y engrane. La vida útil de la máquina roladora es de 48320 horas. Por lo tanto, los números de carga para cada piñón y engrane en cada etapa son:

$$V_{maq.roladora} = 54440 \text{ h} \qquad q = 1$$

$$N_{cPi1} = 60(V_{maq.roladora})(n_{Pi1})(q)$$

$$N_{cPi1} = 60(54440)(890)(1)$$

$$N_{cPi1} = 2,907 \times 10^9$$

$$N_{cEng1} = 60(V_{maq.roladora})(n_{Eng1})(q)$$

$$N_{cEng1} = 60(54440)(373,80)(1)$$

$$N_{cEng1} = 1,221 \times 10^9$$

Con dichos valores de carga calculados, empleando la Figura 13, se determinó los factores de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo. Entonces, se obtuvo lo siguiente:

$$Y_{NPi1} = 1,3558 N_{cPi1}^{-0.0178}$$

$$Y_{NPi1} = 1,3558 (2,907 \times 10^9)^{-0.0178}$$

$$Y_{NPi1} = 0,91991$$

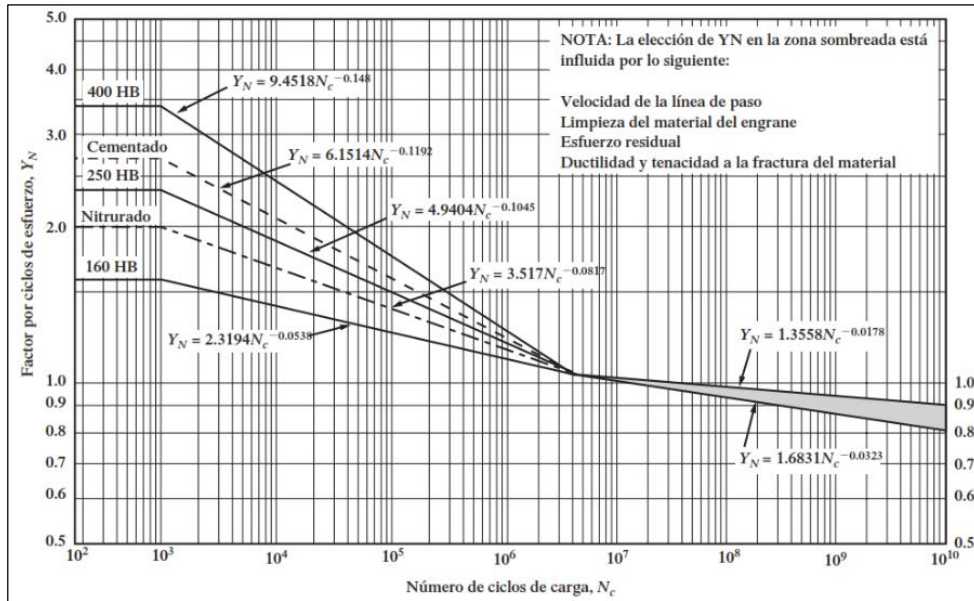
$$Y_{NEng1} = 1,3558 N_{cEng1}^{-0.0178}$$

$$Y_{NEng1} = 1,3558 (1,221 \times 10^9)^{-0.0178}$$

$$Y_{NEng1} = 0,93423$$

**Figura 13**

*Factor de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo*



Nota: Obtenida de Mott (2006).

Con la Figura 14 se calculó el factor de resistencia a la picadura en función de los ciclos de esfuerzo para cada piñón y engrane, donde se obtuvo lo siguiente:

$$Z_{NPi1} = 1,4488 N_{cP1}^{-0.023}$$

$$Z_{NPi1} = 1,4488 (2,907 \times 10^9)^{-0.023}$$

$$Z_{NPi1} = 0,8777$$

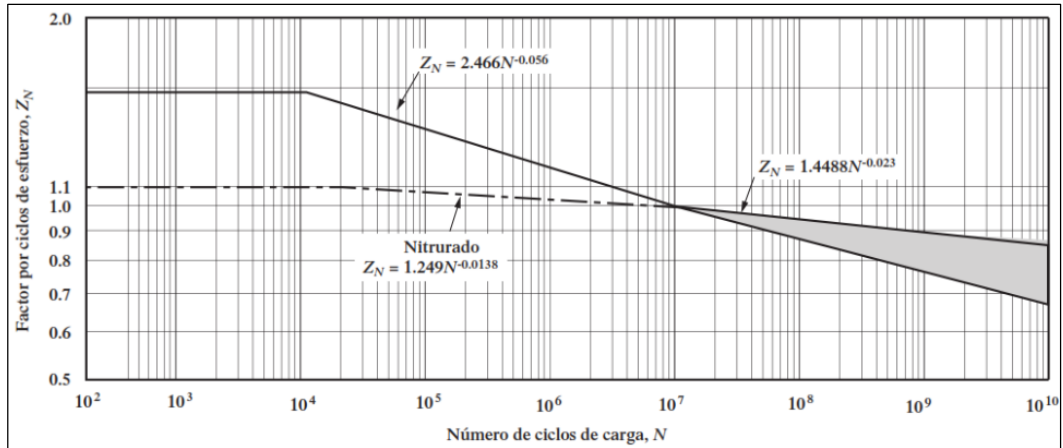
$$Z_{NEng1} = 1,4488 N_{cE1}^{-0.023}$$

$$Z_{NEng1} = 1,4488 (1,221 \times 10^9)^{-0.023}$$

$$Z_{NEng1} = 0,8954$$

**Figura 14**

Factor de resistencia a la picadura por ciclos de esfuerzo



Nota: Obtenida de Mott (2006).

Ahora, se calculó los esfuerzos flexionantes en el piñón y engrane, por lo que se obtuvo lo siguiente:

$$S_{tPi1} = \frac{W_{tr} P_d}{F J_P} K_o K_S K_m K_B K_v$$

$$S_{tPi1} = \frac{(4046,57)(3)}{(4)(0,33)} (1,25)(1)(1,258094)(1)(1,24565)$$

$$S_{tPi1} = 18015,84 \text{ psi}$$

$$S_{tEng1} = S_{tPi1} \left( \frac{J_{Pi}}{J_{Eng}} \right)$$

$$S_{tEng1} = (18015,84 \text{ psi}) \left( \frac{0,33}{0,395} \right)$$

$$S_{tEng1} = 15051,21 \text{ psi}$$

Seguidamente, se ajustaron los esfuerzos flexionantes, empleando la ecuación siguiente:

$$S_{atPi1} = S_{tP1} \frac{K_R f_{serv}}{Y_{NPi1}}$$

$$S_{atPi1} = (18015,84 \text{ psi}) \left( \frac{(1)(1,25)}{0,91991} \right)$$

$$S_{atPi1} = 24480,40 \text{ psi}$$

$$S_{atEng1} = S_{tEng1} \frac{K_R f_{serv}}{Y_{NEng1}}$$

$$S_{atEng1} = (15051,21 \text{ psi}) \left( \frac{(1)(1,25)}{0,93423} \right)$$

$$S_{atEng1} = 20138,60 \text{ psi}$$

Los esfuerzos de contactos calculados en el piñón y en el engrane de la primera etapa, ya que es donde se concentran los máximos esfuerzos de contacto, son:

$$S_{c1} = C_P \sqrt{\frac{W_{tr} K_o K_S K_m K_v}{F D_p I}}$$

$$S_{c1} = 2300 \text{ psi} \sqrt{\frac{(4046,57)(1,25)(1)(1,258094)(1,24565)}{(4)(7)(0,091)}}$$

$$S_{c1} = 128286,73 \text{ psi}$$

Posteriormente, se ajustaron los esfuerzos de contacto en el piñón y engrane de la primer etapa, donde se obtuvo lo siguiente:

$$S_{acPi1} = S_{c1} \frac{K_R f_{servicio}}{Z_{NPi1}}$$

$$S_{acPi1} = (128286,73 \text{ psi}) \left( \frac{(1)(1,25)}{0,87771} \right)$$

$$S_{acPi1} = 182701,82 \text{ psi}$$

$$S_{acEng1} = S_{c1} \frac{K_R f_{serv}}{Z_{NEng1}}$$

$$S_{acEng1} = (128286,73 \text{ psi}) \left( \frac{(1)(1,25)}{0,89539} \right)$$

$$S_{acEng1} = 179092,59 \text{ psi}$$

De la Figura 15 y Figura 16 se empleó la fórmula para determinar la dureza Brinell, para acero grado 2, donde se obtuvo lo siguiente:

$$HB = (S_{acPi1} - 34300) \left( \frac{1}{349} \right)$$

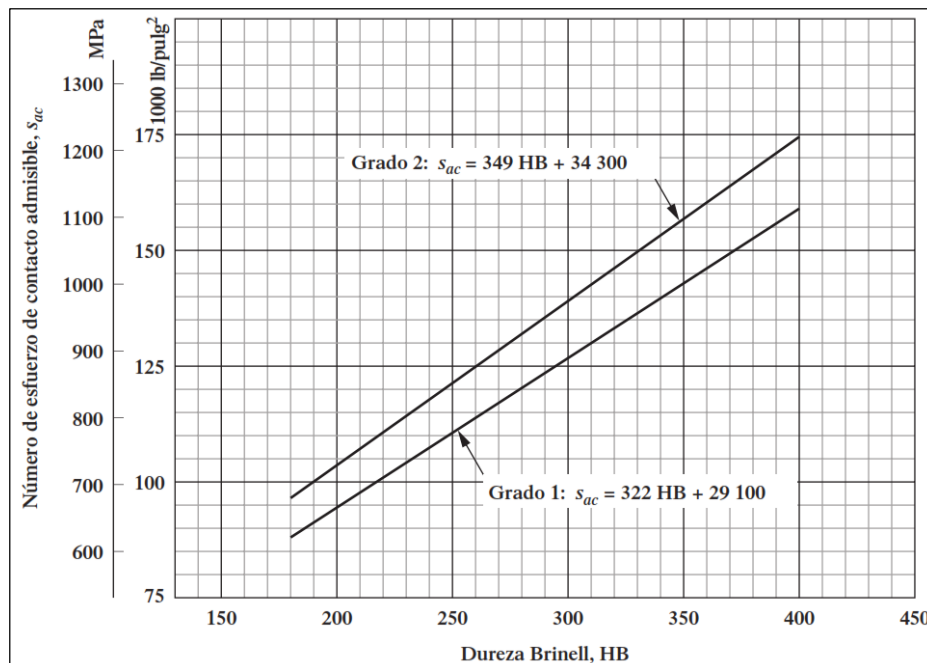
$$HB = (182701,82 - 34300) \left( \frac{1}{349} \right)$$

$$HB = 429$$

De acuerdo con lo calculado, se seleccionó un acero AISI 4140 grado 2, con una dureza Brinell de HB 429. Donde el esfuerzo de contacto para dicha dureza es de 184021 psi (1268,67 MPa), cumpliendo con lo requerido, ya que sobrepasa el esfuerzo de contacto esperado en el piñón más crítico en la primera etapa.

### Figura 15

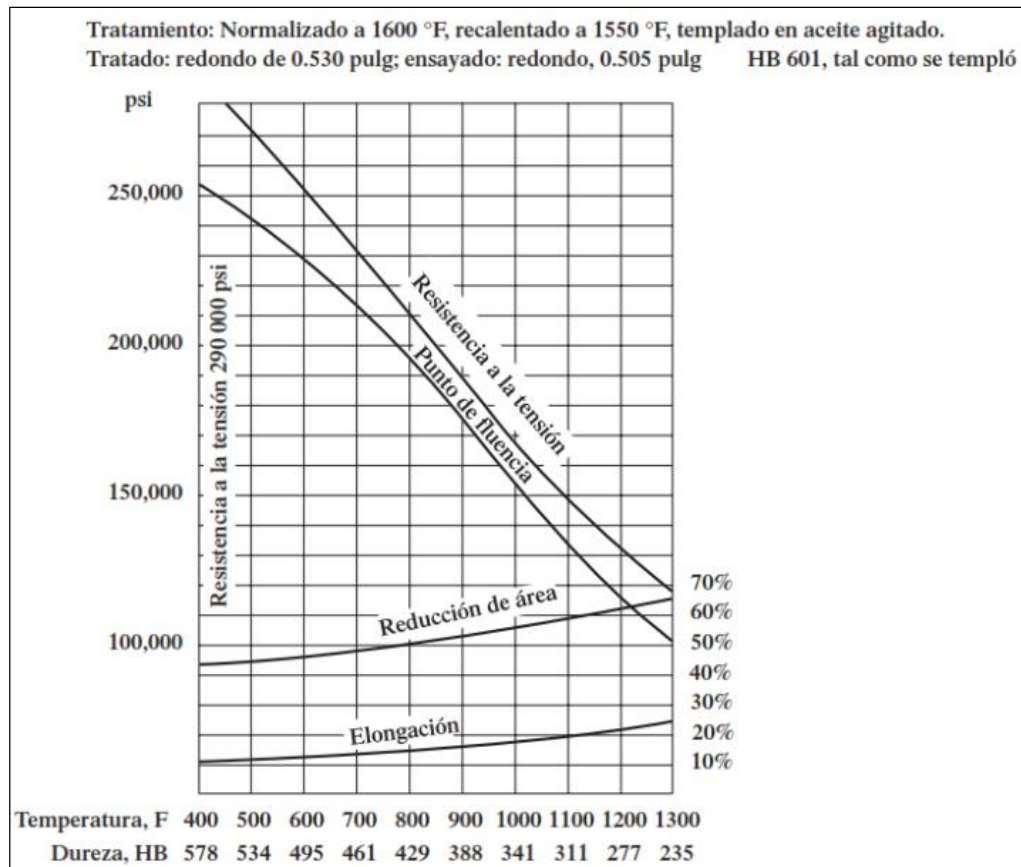
Esfuerzo de contacto admisible (Número Brinell).



Nota: Obtenida de Mott (2006).

**Figura 16**

*Características del material acero AISI 4140*



Nota: Obtenida de Mott (2006).

### **Selección de cilindro hidráulico**

Para poder modificar el radio de la plancha metálica, los rodillos inferiores deben contar con un cilindro hidráulico en cada extremo para poder retraerse o extenderse dependiendo de los requerimientos, por tanto, dicho elemento debe soportar la fuerza de reacción en cada apoyo, que es de 434005 N, equivalente a 44241,0805 kg o 44,2411 toneladas. Para ello, se seleccionó un cilindro hidráulico con una capacidad de 100 toneladas para brindar mayor seguridad al diseño, siendo elegido el modelo RACL-1004 de 100 toneladas, una altura colapsada de 346 mm, una altura extendida de 446 mm, una carrera de 100 mm y una masa de 24,20 kg. En el Anexo 4 se adjuntó toda la información pertinente de dicho componente y la Figura 17.

**Figura 17**

Imagen referencial de cilindro hidráulico RACH-Series

▼ RACH-Series, Single Acting Hollow Plunger Aluminum Hydraulic Cylinders



Nota: Obtenida de Anexo 4.

### Sistema eléctrico para máquina roladora

Para seleccionar correctamente el cable, interruptor termomagnético y otros elementos del sistema eléctrico, como primer paso, se emplea la fórmula:

$$I_{nom} = \frac{P_{motor\ máquina\ roladora\ computarizada}}{K V_{3\phi} \cos \varphi}$$

Al sustituir:

$$I_{nom} = \frac{200\ HP \left( \frac{746\ W}{1\ HP} \right)}{\sqrt{3}(380V)(0,90)}$$

$$I_{nom} = 251,873\ A$$

Considerando como referencia al CNE – Utilización 2006, que menciona un factor de 25% adicional respecto a la corriente nominal:

$$I_{diseño} = 1.25 I_{nom}$$

$$I_{diseño} = 1,25(251,873 A)$$

$$I_{diseño} = 314,842 A$$

Por tanto, es necesario e importante utilizar un interruptor termomagnético trifásico que soporte una corriente de 320 A, seleccionándose un interruptor moldeado Siemens de 3x320A regulable (rango de 224-320A) 36kA para 415 V, en el Anexo 5 se presenta toda la información del interruptor mencionado.

Al continuar con los cálculos, es relevante dimensionar adecuadamente el cable, considerando a la corriente de arranque del motor empleado, por ello, se adjuntó en el Anexo 6 los datos técnicos del cable INDECO N2XOH triple, que posee una sección de 240 mm<sup>2</sup> y logrando soportar una ampacidad de 324 A para una configuración o instalación enterrado en ducto.

Otro factor importante es calcular la caída de tensión, tomando en cuenta que la longitud del cable desde el punto de alimentación a la máquina roladora computarizada es de 18 metros, obteniendo:

$$\Delta V_{máquina roladora} = \frac{I_{nom} L \cos\varphi K_{3\varphi} \rho_{Cu}}{S_{cab}}$$

$$\Delta V_{máquina roladora} = \frac{(251,873 A)(18 m)(0,90)(\sqrt{3}) \left(0,0175 \frac{ohm \cdot mm^2}{m}\right)}{240 mm^2}$$

$$\Delta V_{máquina roladora} = 0,515 V$$

Que debe ser convertido en porcentaje:

$$\Delta V_{máquina roladora}(\%) = \left(\frac{\Delta V_{máquina roladora}}{V_{3\varphi}}\right) (100\%)$$

$$\Delta V_{máquina roladora}(\%) = \left(\frac{0,515 V}{380 V}\right) (100\%)$$

$$\Delta V_{\text{máquina roladora}}(\%) = 0,1356\%$$

Entonces, en referencia a la normativa actual vigente, con respecto a la caída de tensión se debe obtener que sea inferior a 5%, donde la caída calculada es de 0,1356%, lo cual demuestra que el cable seleccionado es adecuado, satisfaciendo todos los requerimientos para que el sistema eléctrico opere sin problemas.

### **Automatización de la máquina roladora computarizada**

Se continua con los detalles necesarios para lograr automatizar el proceso de rolado empleando un sistema automatizado computarizado.

#### 1. Lista de componentes

##### Control principal

- PLC compacto de bajo costo, pero industrial (ej.: Schneider M221/Siemens S7-1200 / Delta DVP-S). CPU con:
- 1 puerto Ethernet (HMI/PC).
- Módulo base con 16 DI + 16 DO mínimo; ampliar con módulos hasta ~64 DI/DO según necesidades.
- 4 entradas analógicas (4–20 mA / 0–10 V) y 2 salidas analógicas (0–10 V o 4–20 mA).
- HMI táctil económico 7"–10" (Weintek, Delta DOP, Siemens KTP Basic). Comunicación Ethernet/ModbusTCP/Profinet según PLC.

##### Protección y arranque (potencia)

- Seccionador de línea para motor (3 polos) con bloqueo.
- Interruptor motor MCCB (capacidad acorde a corriente de 200 HP — ver tabla IEC según tensión: por ejemplo 200 HP a 400 V  $\approx$  300–350 A) + fusibles o disyuntores.

- Contactores de potencia para arranque/parada (3 polos) dimensionados para corriente de motor con reserva para inrush. (Si arranque directo es la solución económica).
- Relé de protección térmica o relé electrónico de protección de motor (sobrecorriente/estator).
- Transformador de control (400/480 V → 24 VDC o 230 V → 24 VDC según control).
- Alimentación 24 VDC estabilizada (fuente DIN 24 V / 5 A).

#### Control de par / transmisión (mecánica)

- Frenos de disco o multidisco (si requiere frenado dinámico), con bobina controlada por contactor.
- Sensor de torque (opcional) o celda de carga en bastidor, si se requiere protección en sobrecarga.
- Encoder absoluto/incremental en eje de rodillo (para posicionamiento y control de avance).
- Tacómetro o encoder en motor (opcional para diagnóstico).

#### Actuación de ajuste de paso / presión (si la máquina usa hidráulica, que es común para roladoras)

- Unidad hidráulica (bomba eléctrica, depósito, filtros) dimensionada para cilindros de ajuste.
- Válvula proporcional hidráulica controlada por salida analógica del PLC (para velocidad/posición suave).
- Cilindros hidráulicos con sensores de posición (LVDT o potenciómetro lineal) o finales mecánicos.
- Válvula de alivio y presostato.

## Sensores y seguridad

- Finales de carrera mecánicos/inductivos para posiciones máximas/mínimas.
- Sensores de proximidad inductivos para detección de piezas y ejes.
- Barrera fotoeléctrica o cortina de luz de seguridad en zonas de acceso.
- Pulsadores de paro de emergencia (E-STOP) según norma (múltiples).
- Relé/PLC de seguridad o módulo de seguridad (Siemens SIRIUS, Pilz o relé de seguridad) para lógica de paro segura.
- Señalización: torre de luces (alarma/operando/paro), buzzer.

## I/O y componentes auxiliares

- Módulos de E/S digitales y analógicas adicionales según conteo final.
- Relés industriales 24 VDC para interfaz entre PLC y contactores (si no se usa salida directa).
- Banco de bornas, regletas, fusibles de control.
- Protector contra sobretensiones transitorio (SPD) y varistores.
- Cableado industrial (manguitos, canalizaciones), etiquetas, etiquetadora.
- Armario de control (IP54/IP65 según ubicación), ventilación forzada y filtros.
- PLC backup battery / reloj en tiempo real (RTC) si se requiere trazabilidad.
- Switch Ethernet industrial (si hay varias HMI/PC).

- Cableado sensor/actuador blindado, cables de fuerza dimensionados.
- Tierra/puesta a tierra con barra y conectores.

#### Herramientas/Software

- Software de programación del PLC elegido (licencia básica).
- Software HMI (edición runtime incluida con HMI).
- Laptop con puerto Ethernet para programación.

## 2. Informe operacional

#### Resumen de funcionamiento general

La máquina recibe la orden de rolar una plancha; el operador en HMI selecciona parámetros: espesor, velocidad de alimentación, número de pasadas, ajuste final de curvatura. El PLC ejecuta secuencia: arranque de motor → engagement de transmisión → regulación de avance (control de cilindros/hidráulica para paso) → monitor de sobrecarga → parada/descarga. No se usa variador, por tanto, la velocidad del motor es fija; la regulación del proceso se obtiene mediante control de alimentación y posiciones de rodillos (gap) y control de freno.

#### Personalización y escalado

- Parámetros en HMI: espesor (mm), tipo material, velocidad alimentación (predefinida por engranajes), modo manual/semiautomático/automático, número de pasadas, límite de par.
- Escalado: la arquitectura permite añadir módulos de E/S para sensores adicionales, múltiple HMI o comunicación OPC UA. Se puede migrar a un PLC con mayor capacidad si se requieren más algoritmos (p. ej. control avanzado de curvatura por modelado).

## Conexiones principales

- Alimentación fuerza: Red trifásica → MCCB → contactor principal → motor (200 HP).
- Frenos: contactor de freno → unidad de freno (bobina) alimentada por 24 V a través de relé.
- Hidráulica: bomba (alimentada por contactor) controlada por PLC; válvula proporcional controlada por salida analógica del PLC; LVDT o sensor de posición al PLC (entrada analógica).
- PLC: 24 VDC alimenta sensores y relés; salidas DO a relés de control y contactores; entradas DI de sensores/finales/cortinas; entradas AI para LVDT/presostato.
- HMI: Ethernet a PLC; alarmas y bitmaps de proceso.

## Seguridad industrial

- E-STOP repartidos y cableados a circuito de seguridad independiente. Pulsador E-STOP activa relé de seguridad que corta la bobina de contactores principales.
- Cortina de luz o barrera en zona de acceso; su salida va a módulo de seguridad para paro seguro.
- Relé/PLC de seguridad implementa monitoreo de paro seguro, reinicio manual y funciones de enclavamiento.
- Protección contra sobrecorriente y termodinámica en motor; detección de bloqueo (stall) y paro inmediato si se excede par o corriente límite.
- Señalización de estado y procedimientos de bloqueo/etiquetado (LOTO) documentados.

### Bloques de funcionalidad (compacto)

- BLOQUE\_ARRANQUE: chequeos iniciales (E-STOP, puertas cerradas, nivel hidráulico ok) → habilito contactor motor.
- BLOQUE\_CICLO: secuencia de rolar (avanzar, rodar, retraer), cuentas pasadas, actualizar parámetros.
- BLOQUE\_GAP: regulación de gap/curvatura (PID sobre posición LVDT con salida a válvula proporcional).
- BLOQUE\_PROTECCION: monitoreo de corriente/torque/temperatura → paro y alarmas.
- BLOQUE\_MANUAL: Jog de cilindros y control manual de freno y motor desde HMI.
- BLOQUE\_ALARMAS\_LOG: registro de eventos y fallas (timestamp) si PLC/RTC disponible.

### 3. Mapeo de E/S básico (ejemplo práctico)

#### Entradas digitales (DI)

- DI0: E-STOP 1
- DI1: E-STOP 2 (zona)
- DI2: Puerta acceso cerrada
- DI3: Cortina de seguridad OK
- DI4: Final carrera gap mínimo
- DI5: Final carrera gap max
- DI6: Sensor pieza en entrada
- DI7: Sensor pieza en salida

#### Salidas digitales (DO)

- DO0: Contactor motor (bobina)
- DO1: Contactor frenado
- DO2: Bomba hidráulica
- DO3: Válvula solenoide ON/OFF (si no proporcional)
- DO4: Luz torre (verde)
- DO5: Luz torre (amarillo)
- DO6: Luz torre (rojo)
- DO7: Alarma buzzer

#### Entradas analógicas (AI)

- AI0: LVDT posición gap (4–20 mA)
- AI1: Presostato hidráulico (4–20 mA)
- AI2: Celda de carga (4–20 mA) — opcional
- AI3: Temperatura (PT100 con módulo)

#### Salidas analógicas (AO)

- AO0: Señal 4–20 mA a válvula proporcional (gap)
- AO1: Salida analógica para control de freno proporcional (si aplica)

#### 4. Automatización / Programa

Se presenta una lógica legible, con estructura por bloques y tablas de estados. Es suficiente para implementar en ST/Ladder/FB traduciendo nombres de bloques. Esta versión evita formato estándar para dar aspecto distinto (mantiene lógica completa y mapeo para implementar en el PLC elegido).

### *Convenciones*

- DI\_x, DO\_x, AI\_x referencian E/S del mapeo.
- Temporizadores: T\_x(ms). Contadores: C\_x.
- Estados: IDLE, PREPARING, ROLLING, PAUSADO, ALARM.
- Variables internas: start\_cmd, stop\_cmd, gap\_target, pasadas\_req, pasadas\_done.

### *Código*

# Inicio de programa principal (ciclo de control)

PROGRAM MAIN\_CONTROL

INPUTS: DI\_0..DI\_7, AI\_0..AI\_3, HMI\_params

OUTPUTS: DO\_0..DO\_7, AO\_0..AO\_1

VAR:

estado := IDLE

start\_cmd := HMI.start

stop\_cmd := HMI.stop

gap\_target := HMI.gap\_mm -> scaleToRange(AI\_0)

pasadas\_req := HMI.pasadas

pasadas\_done := 0

alarm\_code := 0

LOOP:

```
IF any(E_STOP_ACTIVATED()) THEN
```

```
    estado := ALARM
```

```
    SET_ALL_OUTPUTS_SAFE()
```

```
ENDIF
```

```
SWITCH estado:
```

```
    CASE IDLE:
```

```
        IF start_cmd AND prechecks_ok() THEN
```

```
            estado := PREPARING
```

```
            DO_4 := 1 # luz amarilla (preparación)
```

```
        ENDIF
```

```
    CASE PREPARING:
```

```
        DO_2 := 1    # arrancar bomba hidráulica
```

```
        wait_ms(500)
```

```
        DO_0 := 1    # energizar motor contactor
```

```
        wait_until(DO_0_confirmed(), 2000)
```

```
        estado := ROLLING
```

```
        DO_4 := 0; DO_5 := 1 # luz verde (en ciclo)
```

```
    CASE ROLLING:
```

```
        # Control de gap por PID sobre AI_0, salida a AO_0
```

```
        AO_0 := PID_setpoint(gap_target, AI_0)
```

```

# Control de pasadas

IF piece_at_entry() THEN

    execute_pass()

    pasadas_done := pasadas_done + 1

ENDIF

IF pasadas_done >= pasadas_req THEN

    estado := PAUSADO

ENDIF

# Supervisión de sobrecorriente o celda de carga

IF over_current() OR overload_cell() THEN

    alarm_code := 101

    estado := ALARM

ENDIF

CASE PAUSADO:

    DO_0 := 0 # desenergiza motor

    DO_2 := 0 # para bomba si aplica entre ciclos

    DO_5 := 0; DO_6 := 1 # luz roja (fin)

    IF HMI.reset THEN

        pasadas_done := 0

        estado := IDLE

    ENDIF

```

CASE ALARM:

SET\_ALL\_OUTPUTS\_SAFE()

DO\_6 := 1 # luz roja

BEEP\_ALARM()

log\_alarm(alarm\_code)

IF HMI.ack\_alarm AND safety\_conditions\_ok() THEN

alarm\_code := 0

estado := IDLE

ENDIF

END SWITCH

END LOOP

END PROGRAM

Subrutinas / Funciones auxiliares

Código

FUNCTION prechecks\_ok()

RETURN NOT any(E\_STOP\_ACTIVATED())

AND DI\_2 (puerta cerrada)

AND DI\_3 (cortina OK)

AND AI\_1 within pressure\_limits()

END FUNCTION

FUNCTION execute\_pass()

# Secuencia por pasada:

# 1. Detectar pieza: DI6 -> mover rodillos/avanzar

# 2. Controlar duración de rodado por tiempo o conteo encoders

```

DO_3 := 1 # activar solenoide avance
T_1.start( ms_from_material_length() )
WAIT T_1.done
DO_3 := 0
# breve retracción
T_2.start(200)
WAIT T_2.done
END FUNCTION

```

```

FUNCTION PID_setpoint(set_mm, actual_mA)
  actual_mm := scale_AI_to_mm(actual_mA)
  output := PID_CONTROLLER(set_mm, actual_mm, KP, KI, KD)
  RETURN scale_to_AO(output) # retorna 4-20mA o 0-10V para AO_0
END FUNCTION

```

#### *Notas de implementación*

- `over_current()` se implementa leyendo relé de protección o entrada digital del relé de protección.
- `ms_from_material_length()` traduce velocidad de alimentación fija y longitud de placa a tiempo de rolado.
- Parámetros PID (KP, KI, KD) se alimentan desde HMI y se guardan en memoria no volátil.

#### 5. Consideraciones prácticas y recomendaciones rápidas

- Si la planta opera en tensiones 400–480 V, confirmar corriente nominal exacta del motor y seleccionar MCCB/contactores con margen. Un ingeniero eléctrico calcula  $I_n$  mediante tabla de motores.
- Para minimizar costos iniciales: elegir PLC modular económico (Delta o Schneider M221) y HMI Weintek. Si se requiere escalabilidad o integración con planta, preferir Siemens/Allen-Bradley.

- Priorizar módulo de seguridad o relé de seguridad independiente para E-STOP/cortina; esto reduce riesgos legales.
- Registrar alarmas y horas máquina (MTBF/MTTR) mediante HMI y opcionalmente con SCADA ligero si se requiere trazabilidad.
- Documentar claramente el diagrama unifilar de potencia y el diagrama de control (ladder/FB) antes de puesta en marcha.

### **5.1.3. Simulación mediante el uso de software CAD/CAE**

Continuando con el desarrollo de la investigación, se hizo uso del software SolidWorks 2022 para poder modelar y simular cada pieza además del ensamblaje final con el propósito de obtener los esfuerzos máximos, deformaciones máximas y factores de seguridad mínimos, de manera que se pueda comprobar que el dimensionamiento y modelado es adecuado para el diseño de la máquina roladora computarizada para plancha metálica de hasta 1 pulgada de espesor.

#### **Análisis estático del rodillo superior sin cargar**

Para empezar con el análisis estático del rodillo, en primer lugar, se ha realizado un análisis sin cargar y con un apoyo, además del peso propio del mismo, que al agregar como material al acero AISI 4340 recocido además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

La Figura 18 permite identificar los esfuerzos presentados en el rodillo superior, donde el máximo esfuerzo es de 19,73 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

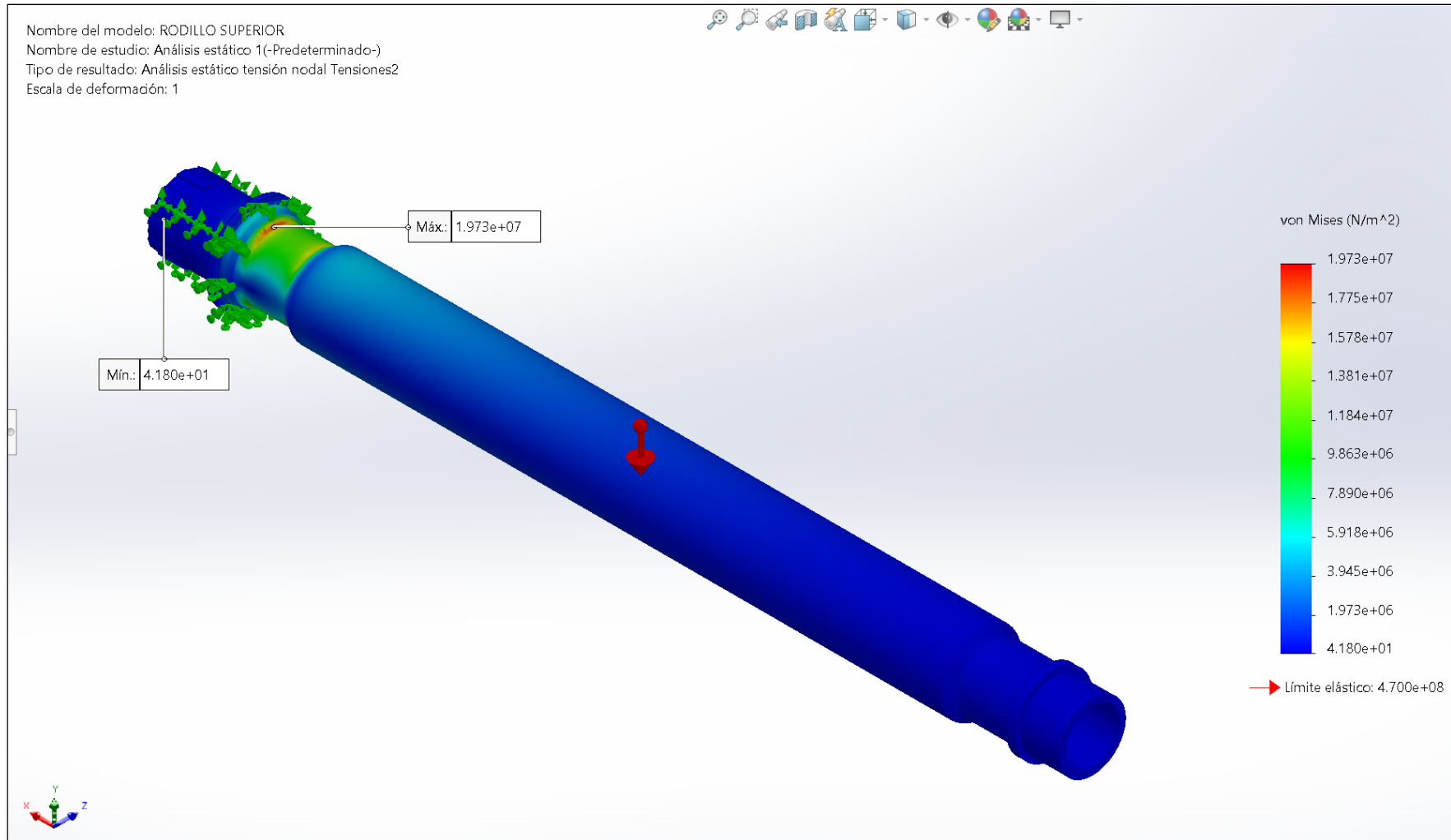
La Figura 19 permite identificar los desplazamientos presentados en el rodillo superior, donde el máximo desplazamiento es de 0,7503 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 20 permite identificar los factores de seguridad presentados en

el rodillo superior, donde el mínimo valor es de 24 (23,83), siendo bastante aceptable y elevado debido a que no se ha considerado la carga sino solo el peso propio.

**Figura 18**

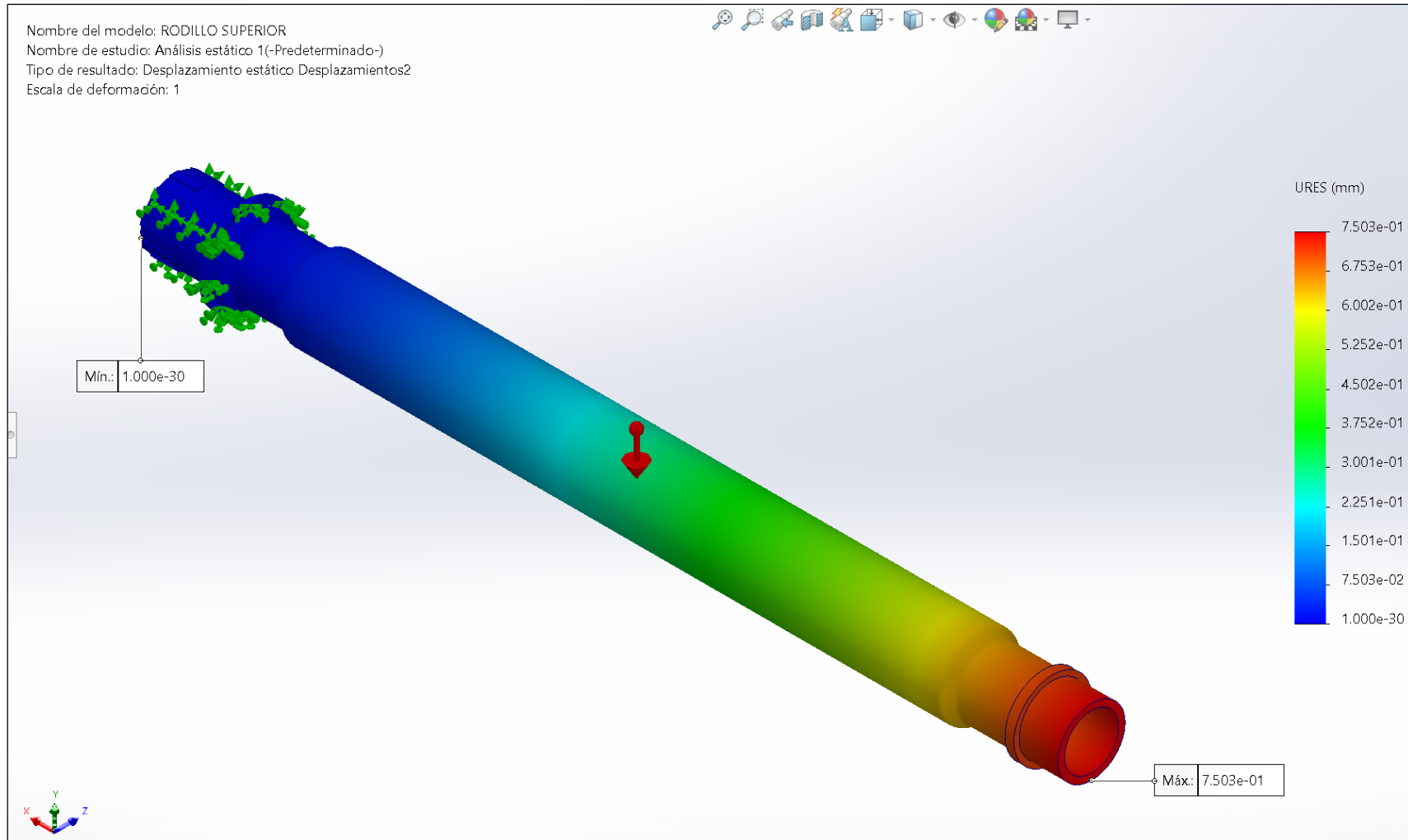
*Esfuerzos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 19**

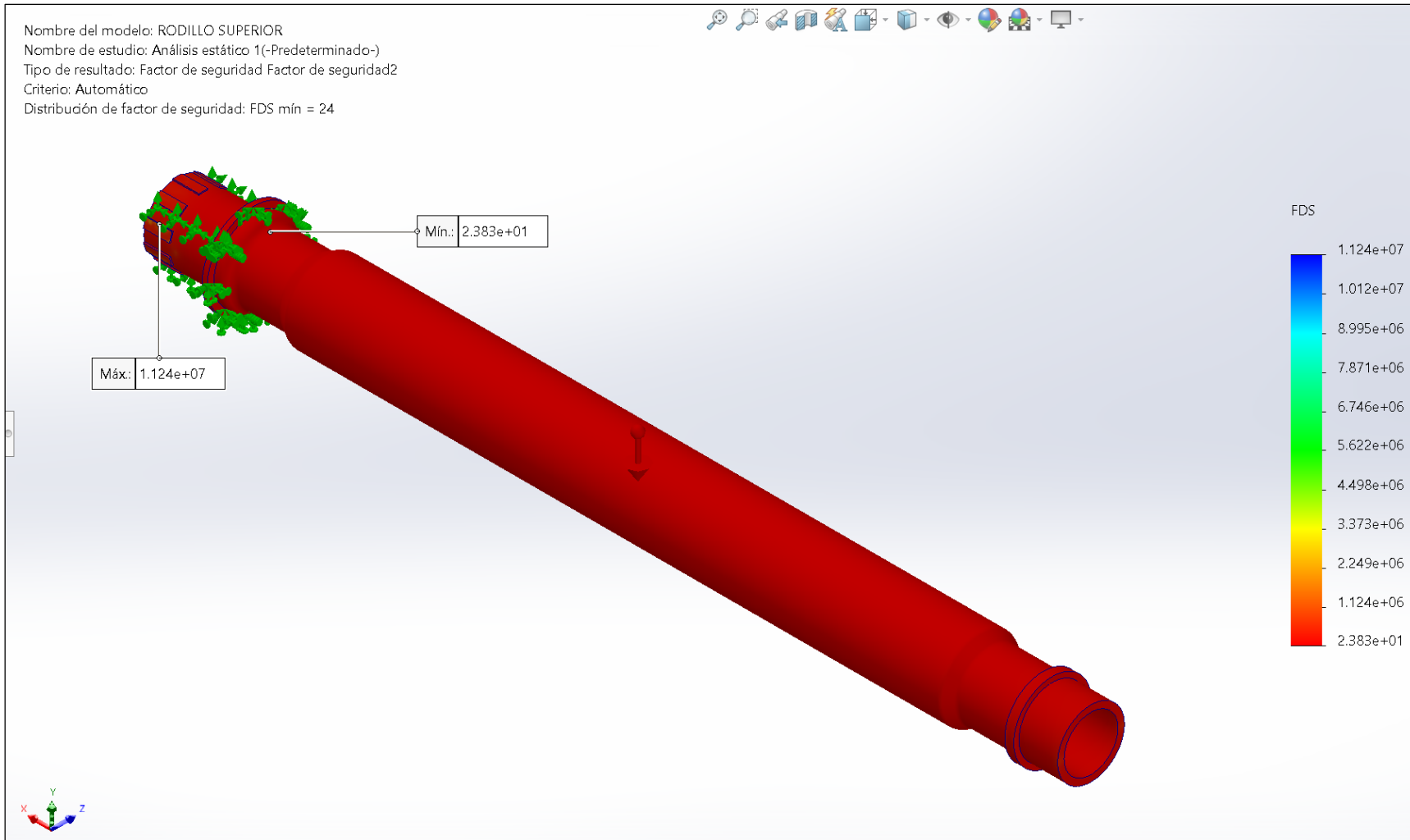
*Desplazamientos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 20**

*Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y un apoyo)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del rodillo superior sin cargar y ambos apoyos**

Para empezar con el análisis estático del rodillo, en primer lugar, se ha realizado un análisis sin cargar y considerando ambos apoyos, además del peso propio del mismo, que al agregar como material al acero AISI 4340 recocido además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

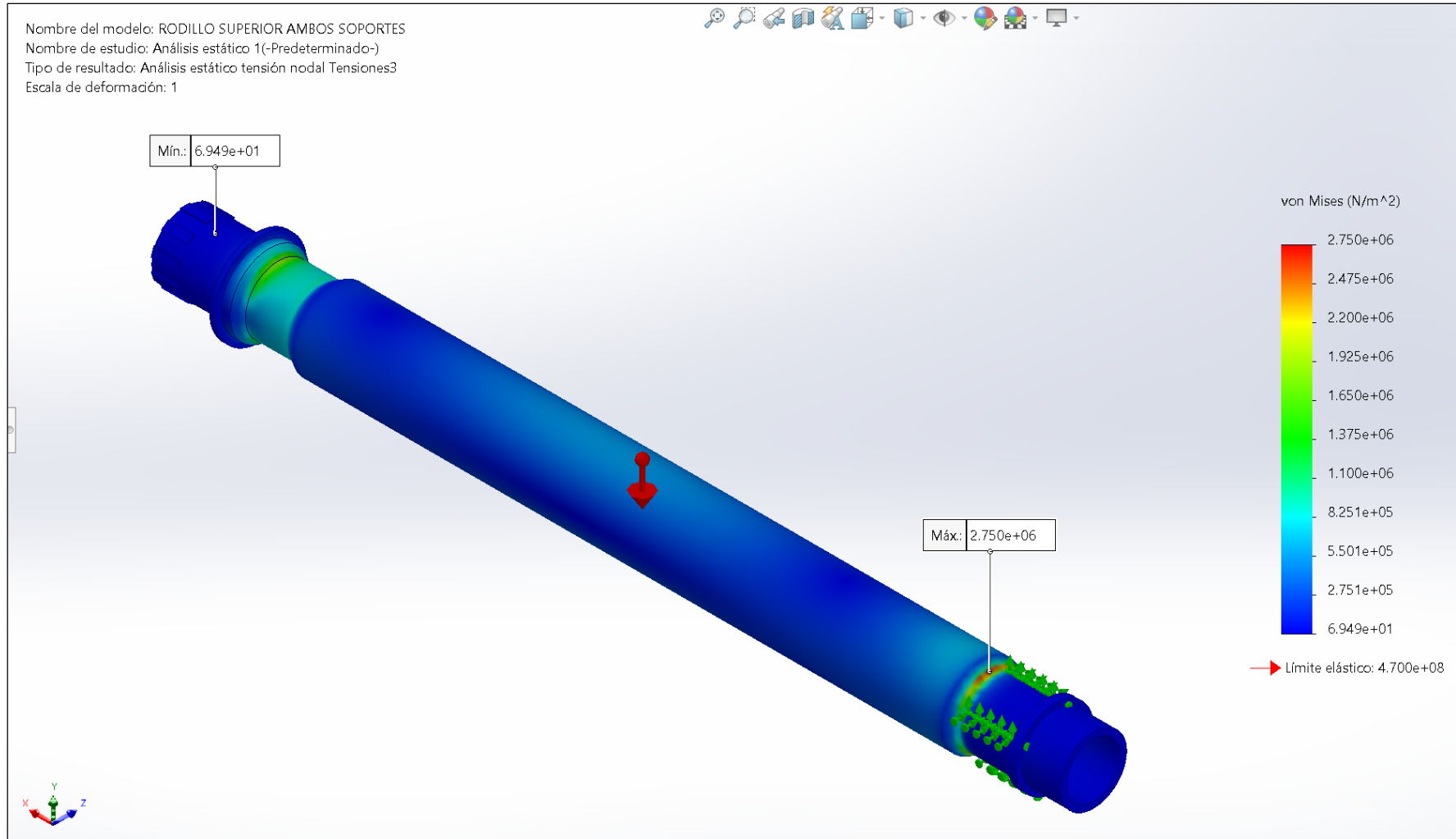
La Figura 21 permite identificar los esfuerzos presentados en el rodillo superior, donde el máximo esfuerzo es de 2,75 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 22 permite identificar los desplazamientos presentados en el rodillo superior, donde el máximo desplazamiento es de 0,01205 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 23 permite identificar los factores de seguridad presentados en el rodillo superior, donde el mínimo valor es de 170 (170,90), siendo bastante aceptable y elevado debido a que no se ha considerado la carga sino solo el peso propio.

**Figura 21**

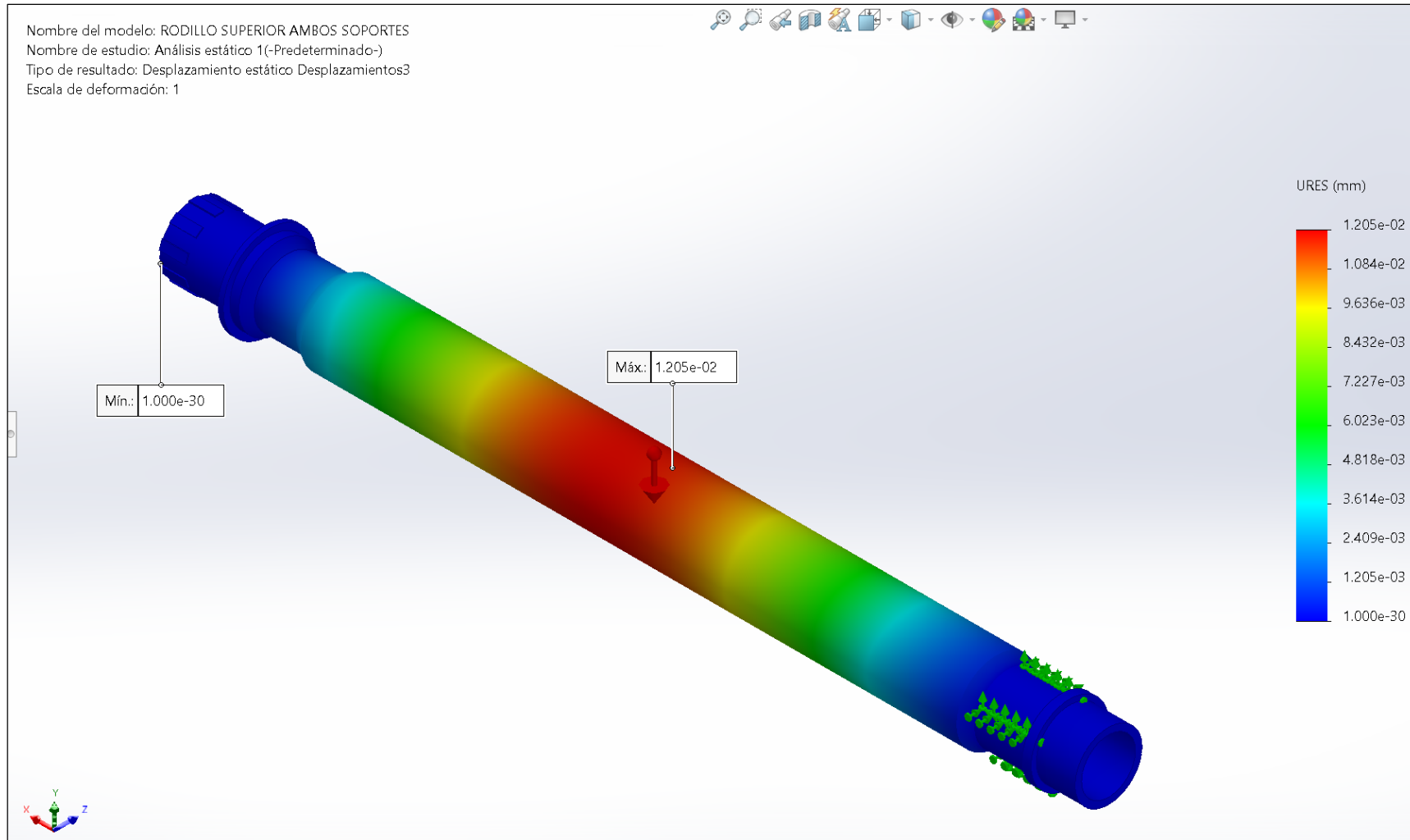
*Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 22**

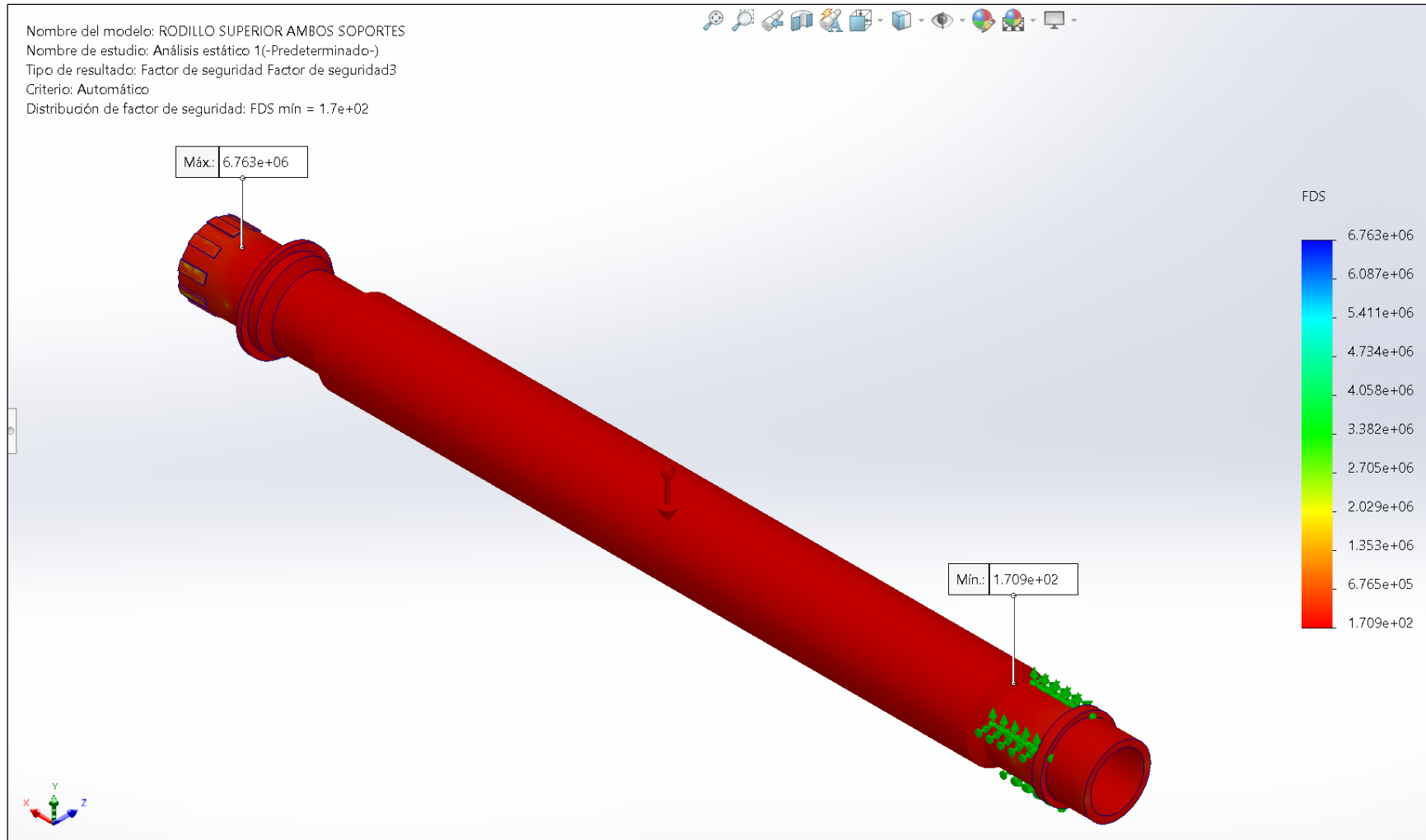
*Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 23**

*Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (sin carga y ambos apoyos)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del rodillo superior cargado**

Para empezar con el análisis estático del rodillo, en primer lugar, se ha realizado un análisis con carga y considerando ambos apoyos, además del peso propio del mismo y una carga de 694405 N, que al agregar como material al acero AISI 4340 recocido además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

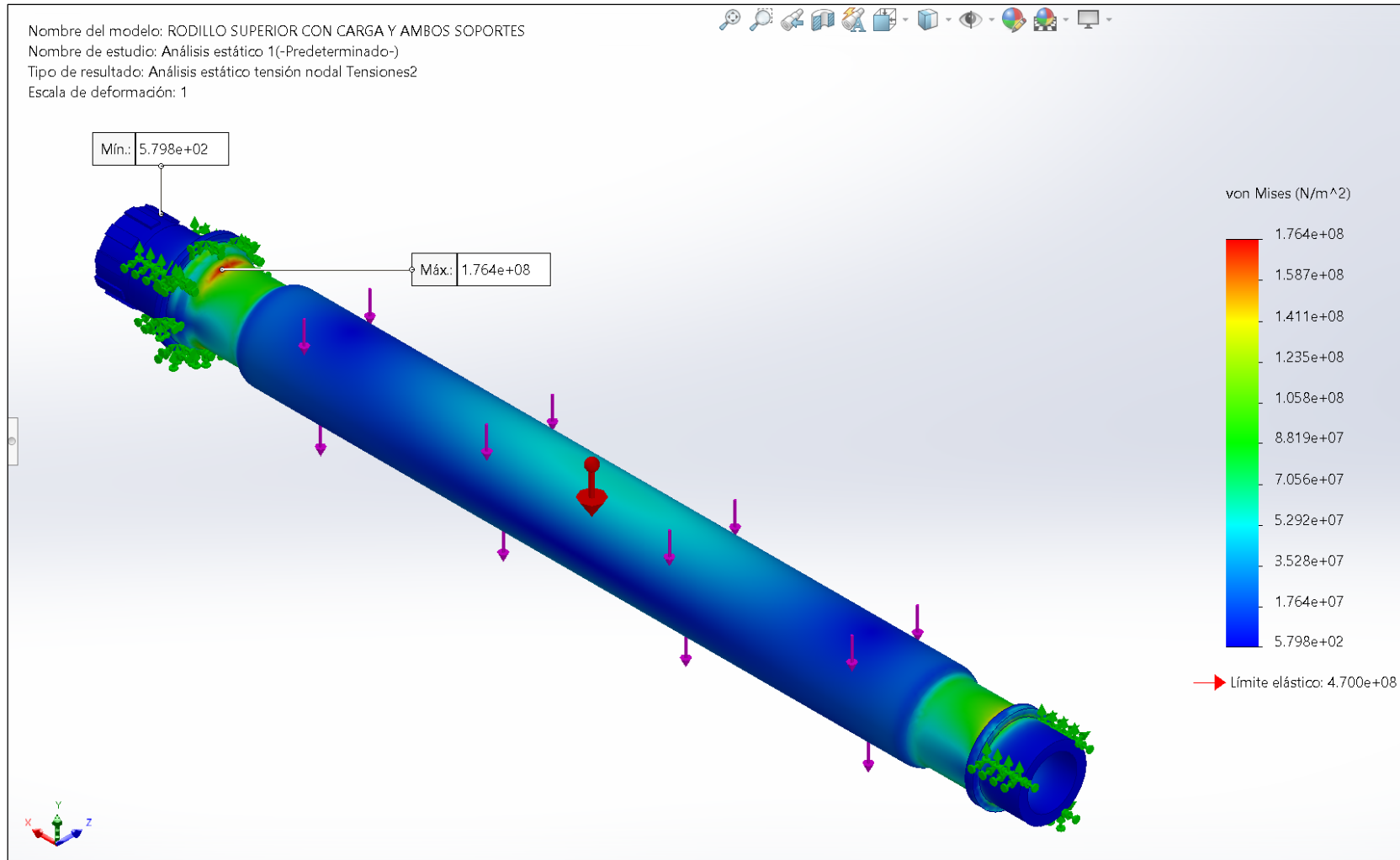
La Figura 24 permite identificar los esfuerzos presentados en el rodillo superior, donde el máximo esfuerzo es de 176,40 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 25 permite identificar los desplazamientos presentados en el rodillo superior, donde el máximo desplazamiento es de 1,382 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 26 permite identificar los factores de seguridad presentados en el rodillo superior, donde el mínimo valor es de 2,70 (2,665), siendo bastante aceptable ya que mínimo debe obtenerse un valor de 2.

**Figura 24**

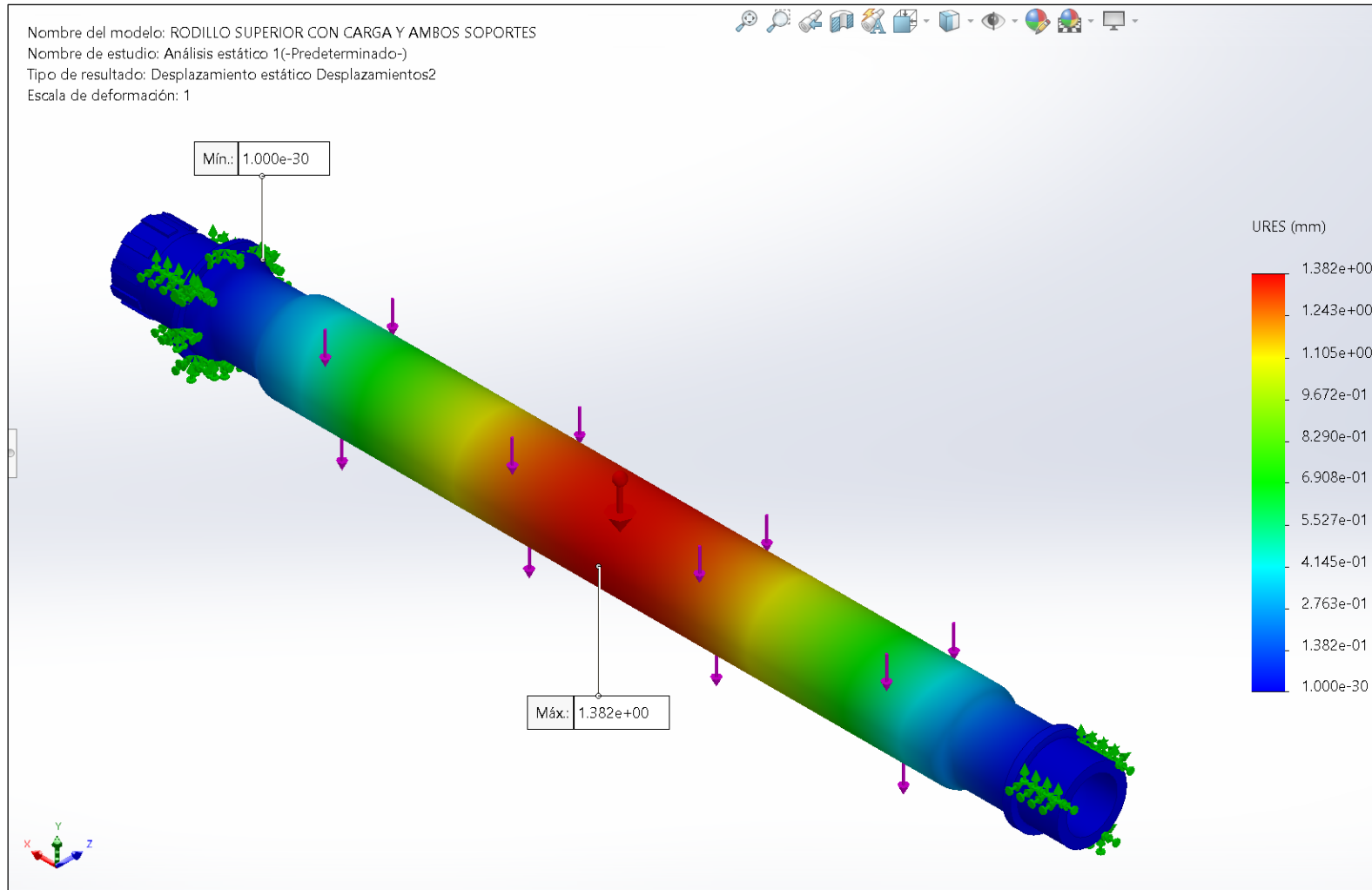
*Esfuerzos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 25**

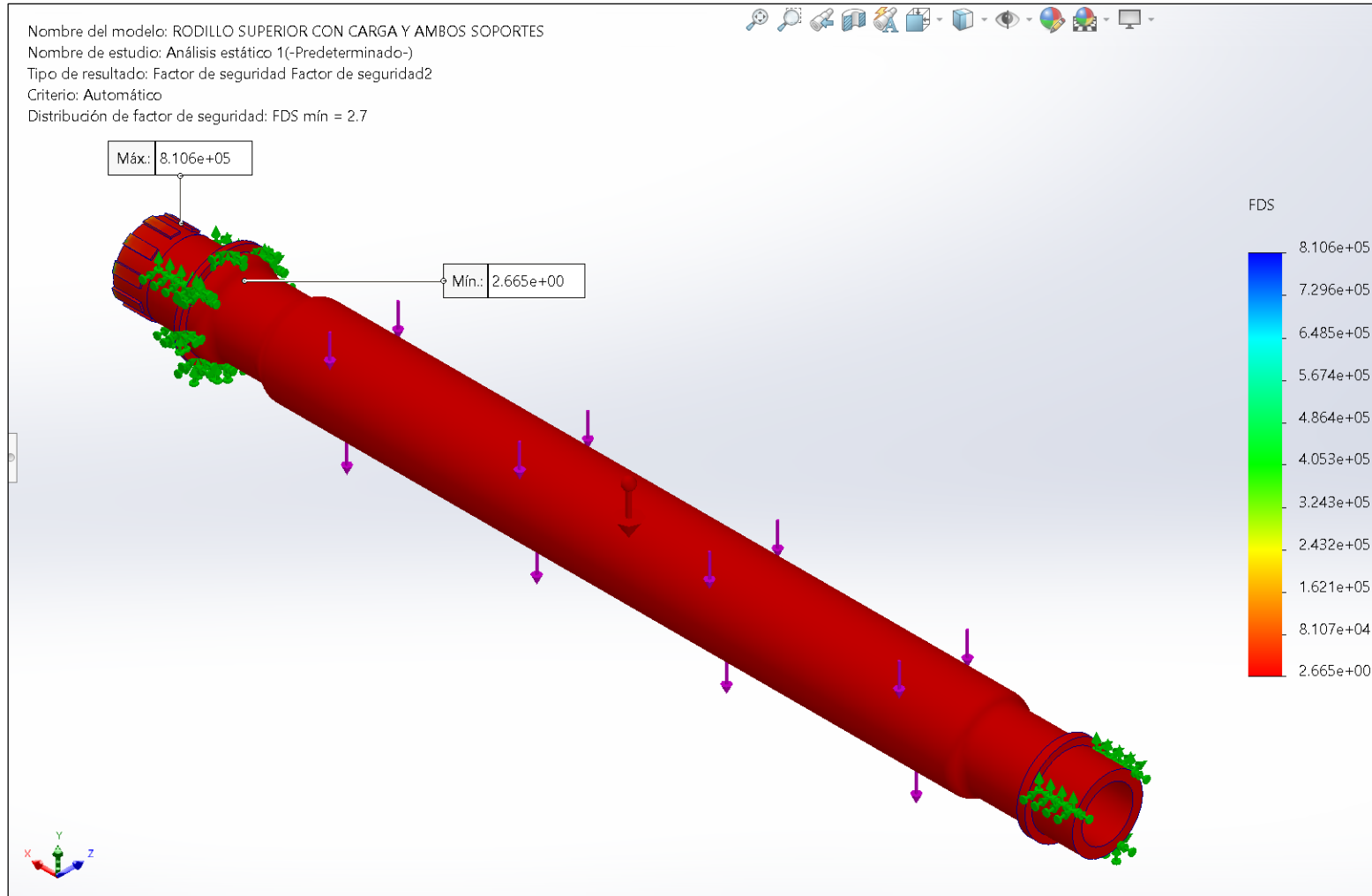
*Desplazamientos presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 26**

*Factores de seguridad presentados en el rodillo superior para la máquina roladora (cargado)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del soporte móvil para rodillo superior**

Para empezar con el análisis estático del soporte móvil para rodillo superior, se ha ingresado la gravedad para tomar en cuenta el peso propio del mismo, además de agregar la carga donde se acopla el rodillo superior que es una fuerza de 434005 N hacia abajo, que al agregar como material al acero AISI 4340 recocido además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

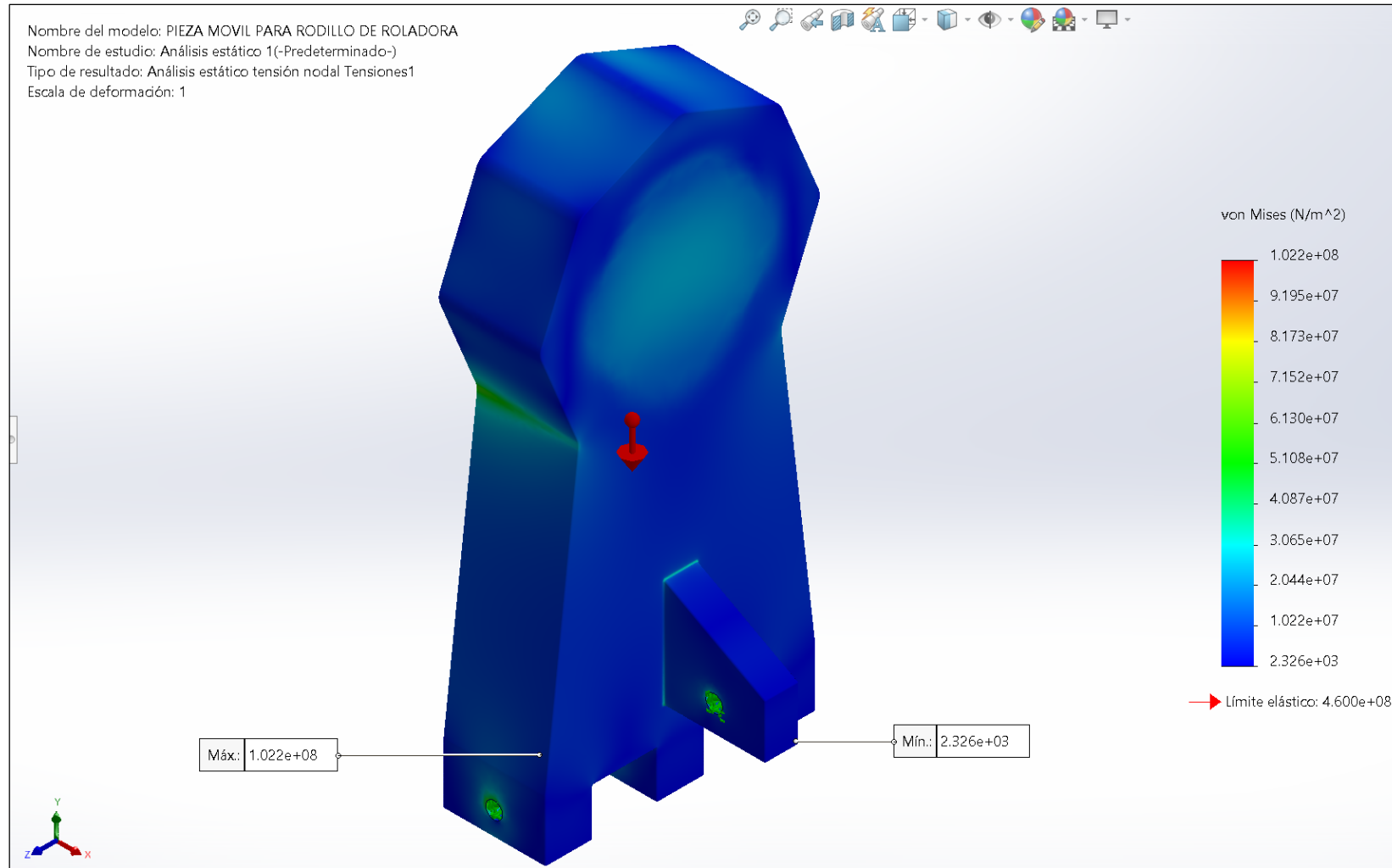
La Figura 27 permite identificar los esfuerzos presentados en el soporte móvil para rodillo superior, donde el máximo esfuerzo es de 102,20 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 28 permite identificar los desplazamientos presentados en el soporte móvil para rodillo superior, donde el máximo desplazamiento es de 0,1469 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 29 permite identificar los factores de seguridad presentados en el soporte móvil para rodillo superior, donde el mínimo valor es de 4,50 (4,502), siendo bastante aceptable y elevado para el diseño propuesto, brindando seguridad para la máquina roladora computarizada.

**Figura 27**

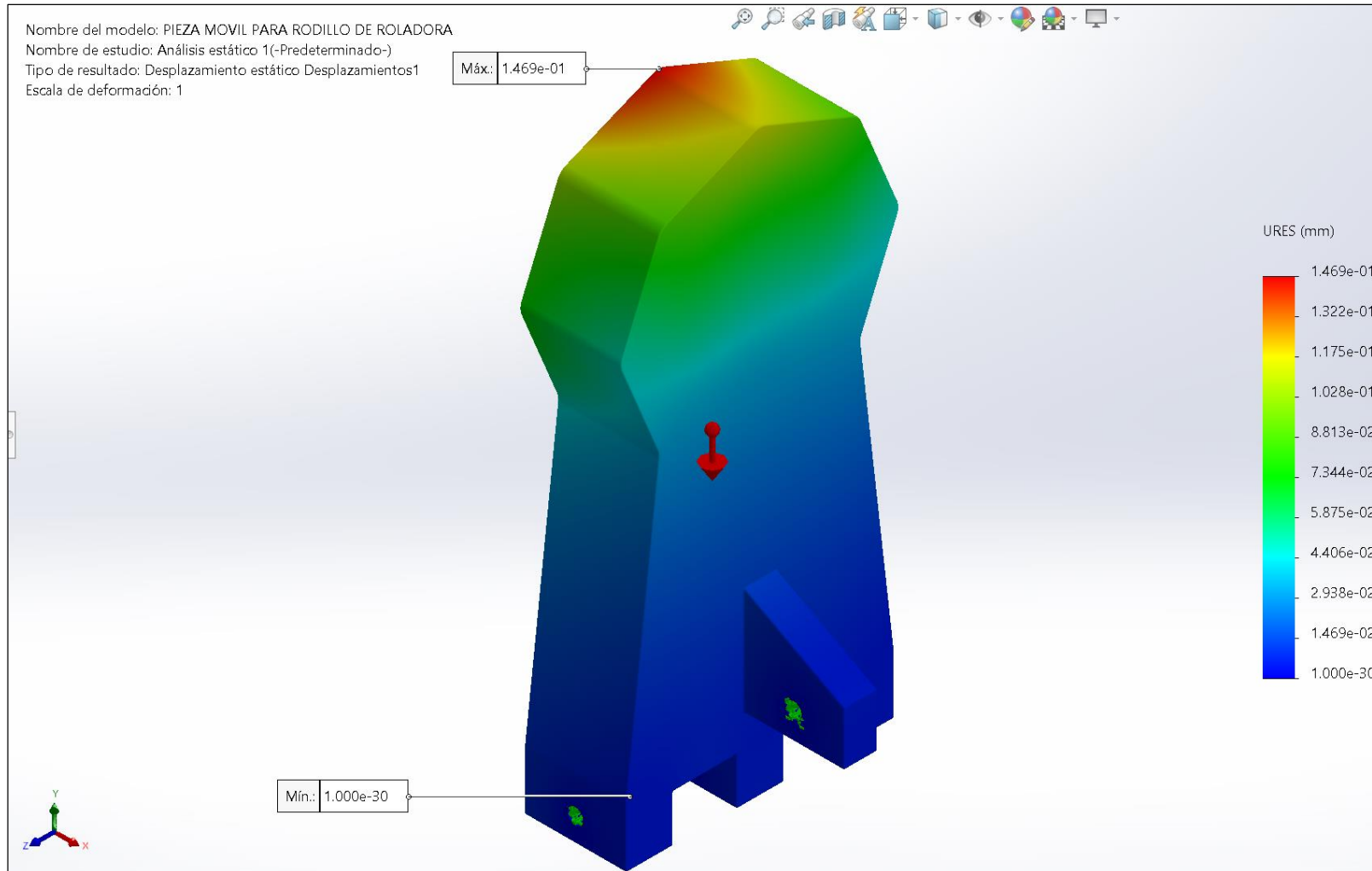
*Tensiones Von Mises originadas en el soporte móvil para rodillo superior*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 28**

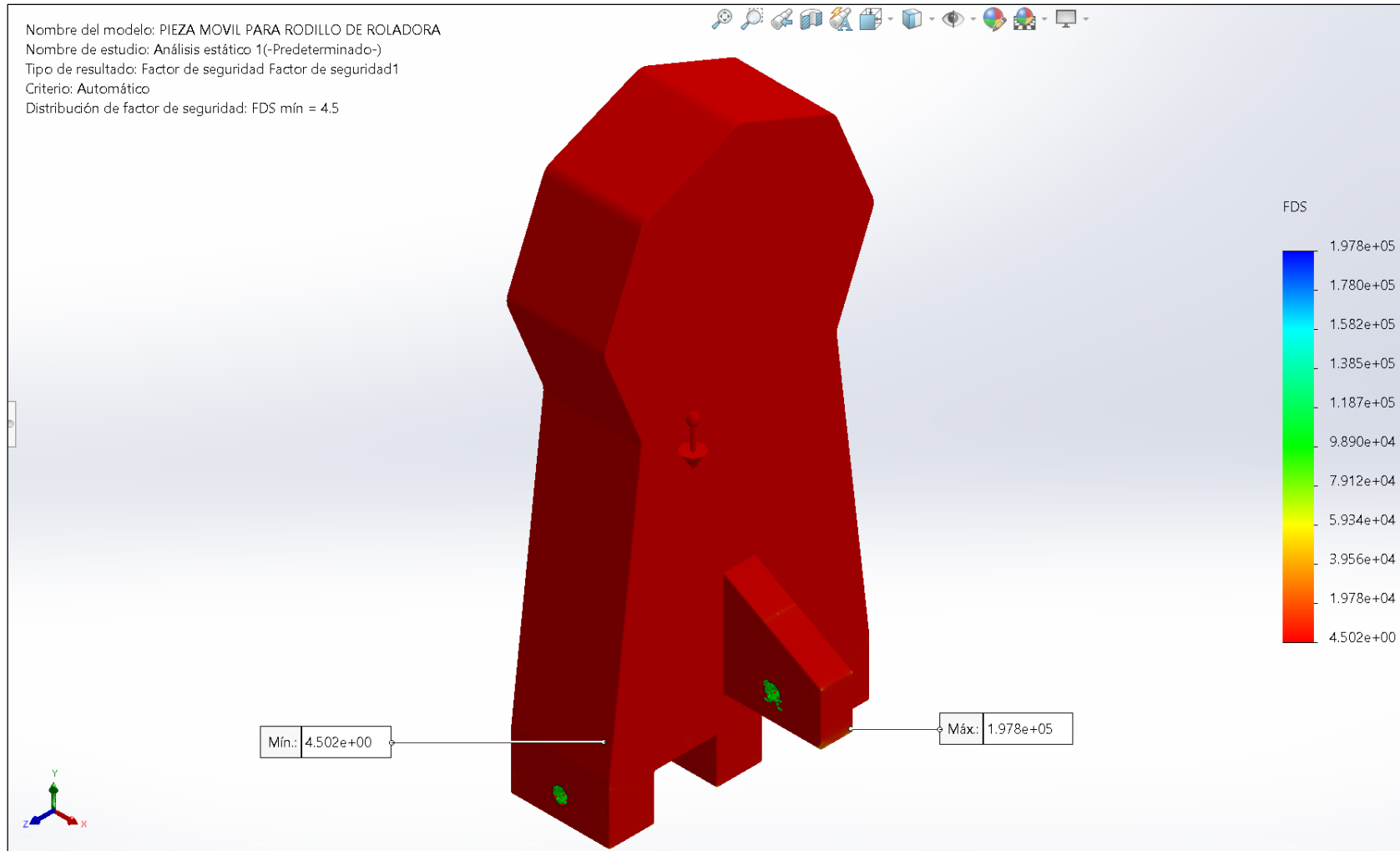
*Desplazamientos originados en el soporte móvil para rodillo superior*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 29**

*Factores de seguridad originados en el soporte móvil para rodillo superior*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del piñón de 21 dientes**

Para empezar con el análisis estático del piñón de 21 dientes, se ha ingresado la gravedad para tomar en cuenta el peso propio del mismo, además de agregar la carga que actúa en los dientes, seguidamente de añadir como material al acero AISI 4340 normalizado además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

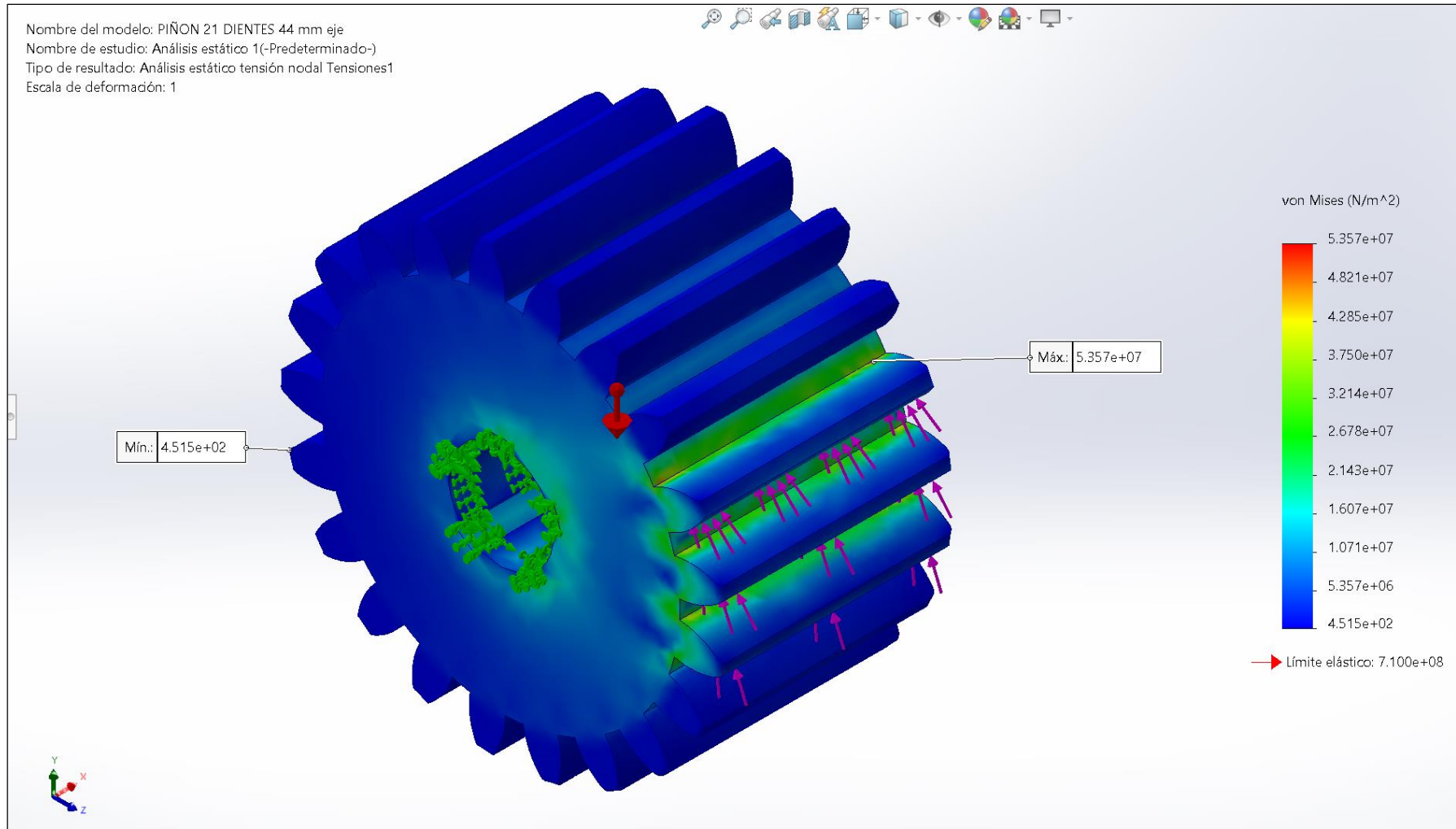
La Figura 30 permite identificar los esfuerzos presentados en el piñón de 21 dientes, donde el máximo esfuerzo es de 53,57 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 31 permite identificar los desplazamientos presentados en el piñón de 21 dientes, donde el máximo desplazamiento es de 0,1584 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 32 permite identificar los factores de seguridad presentados en el piñón de 21 dientes, donde el mínimo valor es de 13 (13,25), siendo bastante aceptable y elevado para el diseño propuesto, brindando seguridad para la máquina roladora computarizada.

**Figura 30**

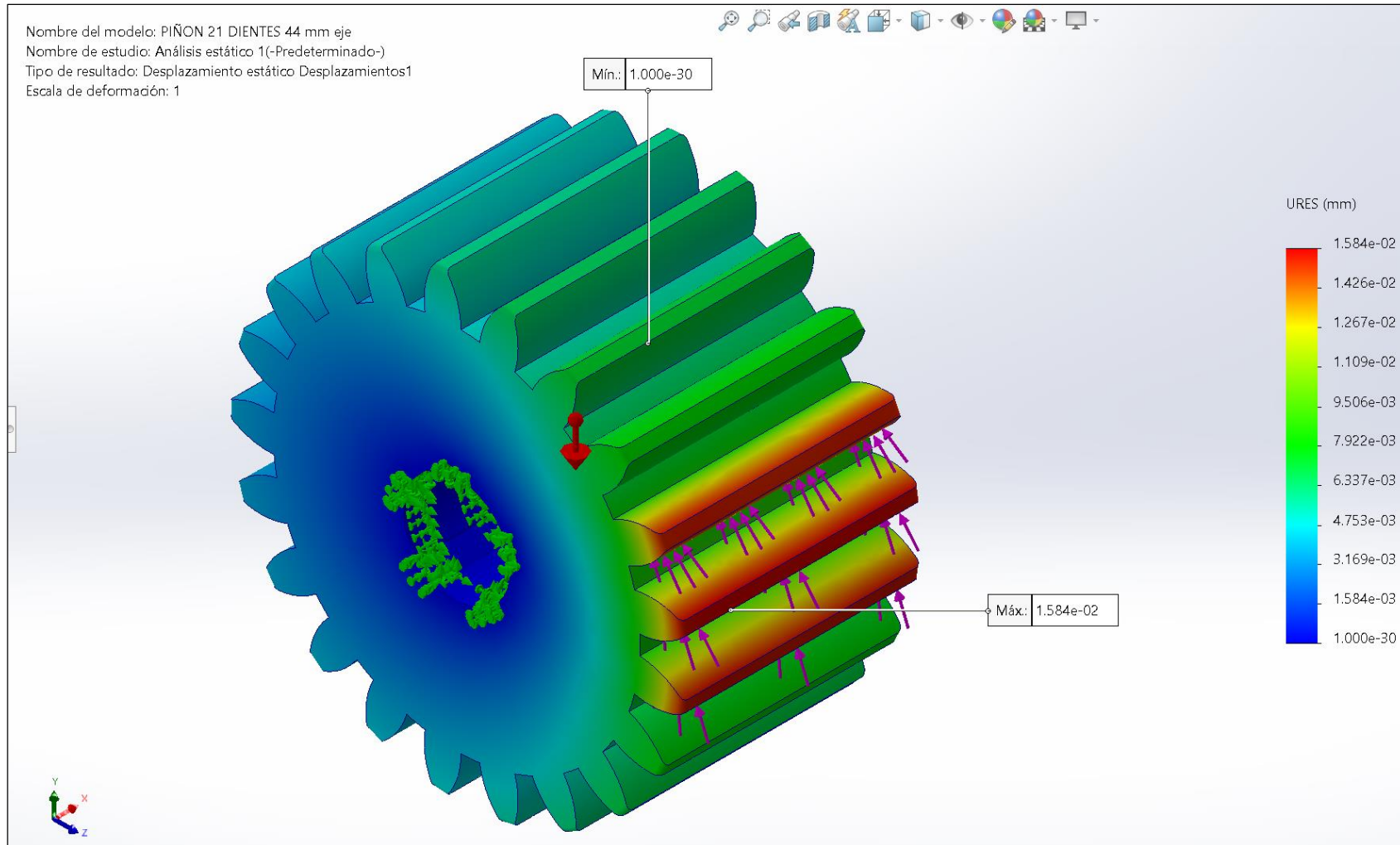
*Tensiones Von Mises originadas en el piñón de 21 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 31**

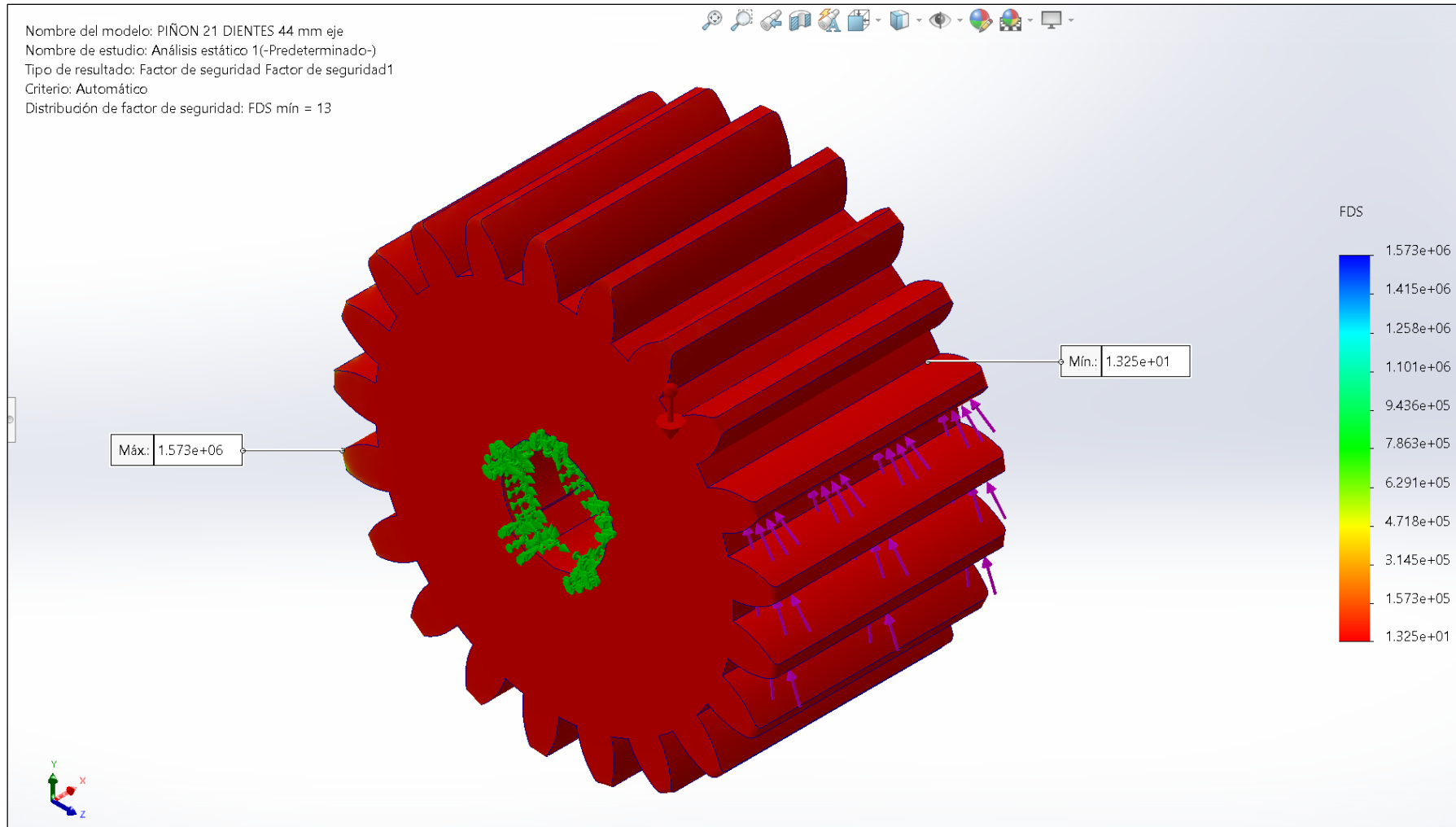
*Desplazamientos originados en el piñón de 21 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 32**

*Factores de seguridad originados en el piñón de 21 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del engranaje de 50 dientes**

Para empezar con el análisis estático del engranaje de 50 dientes, se ha ingresado la gravedad para tomar en cuenta el peso propio del mismo, además de agregar la carga que actúa en los dientes, seguidamente de añadir como material al acero AISI 4340 normalizado además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

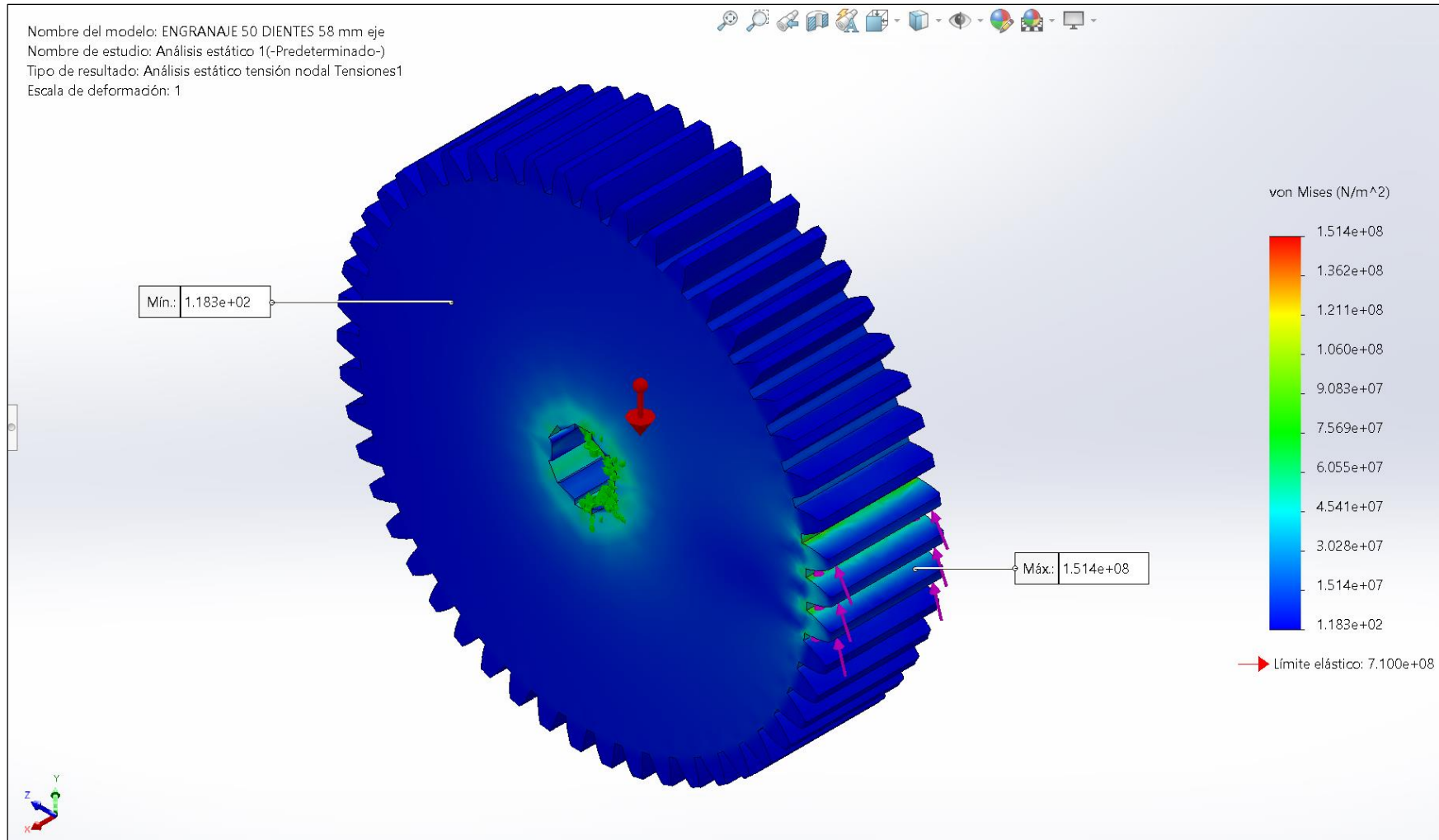
La Figura 33 permite identificar los esfuerzos presentados en el engranaje de 50 dientes, donde el máximo esfuerzo es de 151,40 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 34 permite identificar los desplazamientos presentados en el engranaje de 50 dientes, donde el máximo desplazamiento es de 0,08428 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 35 permite identificar los factores de seguridad presentados en el engranaje de 50 dientes, donde el mínimo valor es de 4,70 (4,69), siendo bastante aceptable y elevado para el diseño propuesto, brindando seguridad para la máquina roladora computarizada.

**Figura 33**

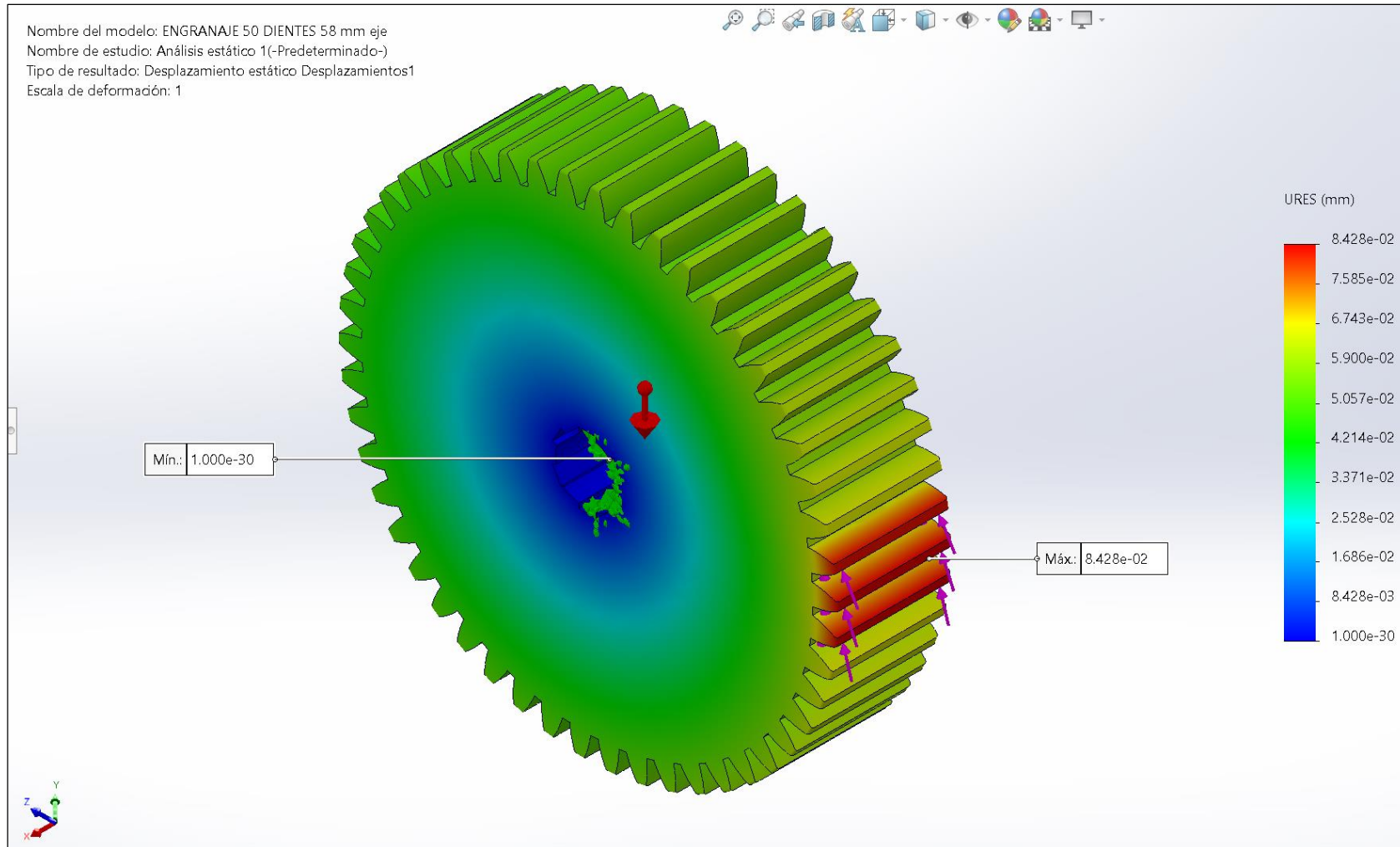
*Tensiones Von Mises originadas en el engranaje de 50 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 34**

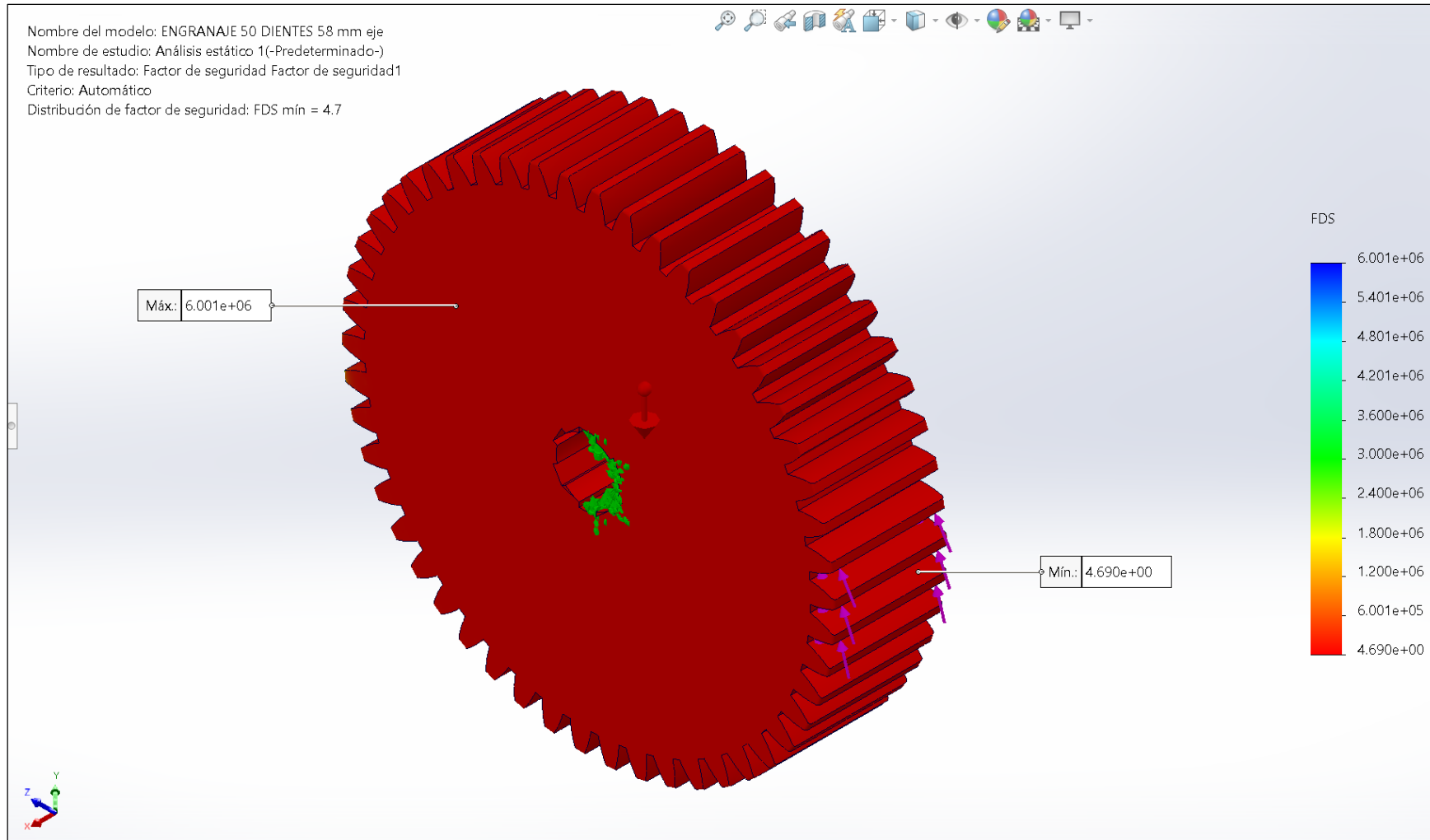
*Desplazamientos originados en el engranaje de 50 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 35**

*Factores de seguridad originados en el engranaje de 50 dientes*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Análisis estático del ensamblaje de la máquina roladora**

Para empezar con el análisis estático del ensamblaje de la máquina roladora computarizada, se ha ingresado la gravedad para tomar en cuenta el peso propio del mismo, además de agregar las cargas que actúan en el rodillo superior y rodillos inferiores, seguidamente de añadir como material al acero correspondiente para cada elemento estructural y de máquina, además de las restricciones correspondientes, se obtuvieron los resultados siguientes:

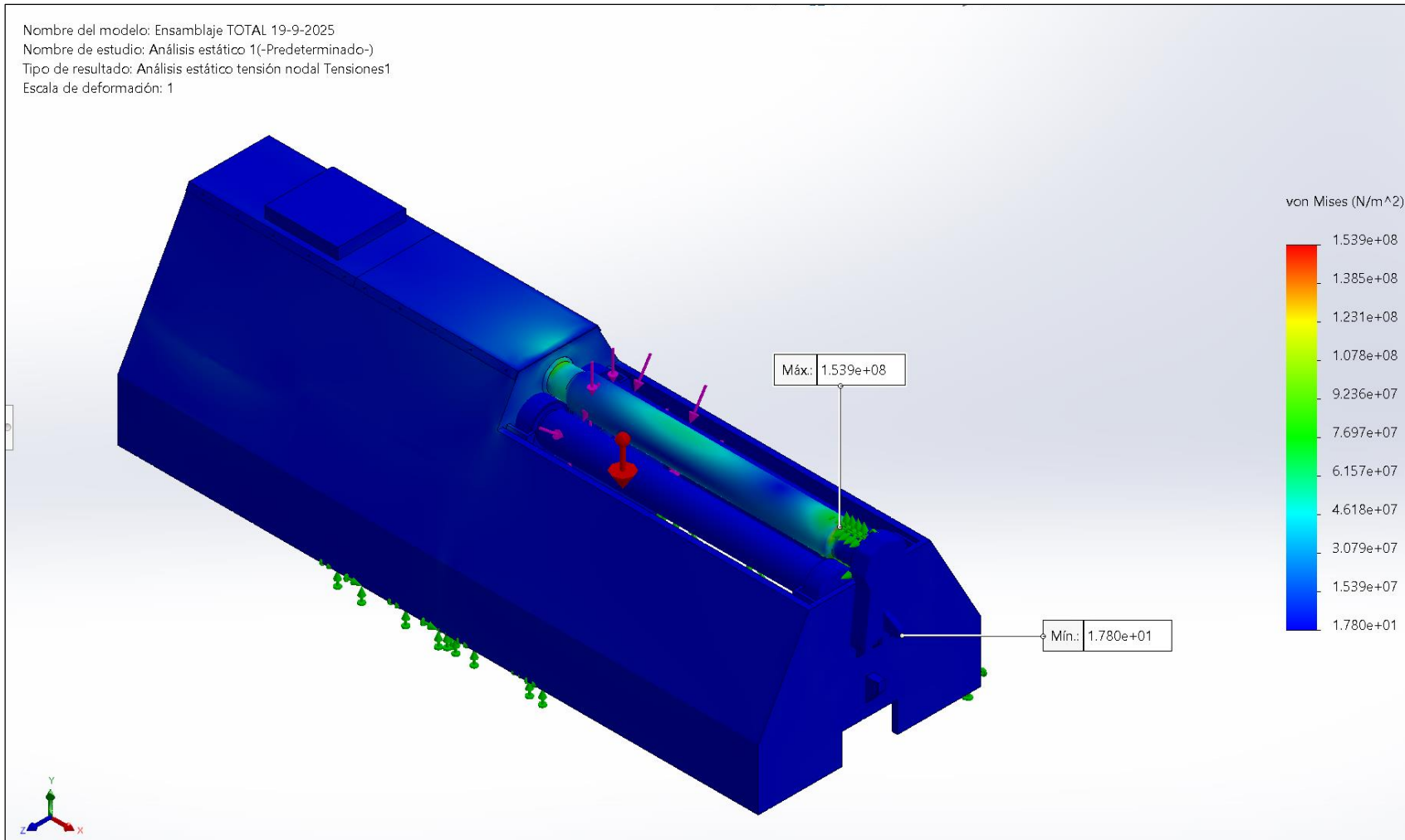
La Figura 36 permite identificar los esfuerzos presentados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada, donde el máximo esfuerzo es de 153,90 MPa, bastante inferior al límite elástico del acero empleado.

La Figura 37 permite identificar los desplazamientos presentados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada, donde el máximo desplazamiento es de 1,279 mm, siendo bastante pequeño e imperceptible que no afecta en nada el proceso de rolado.

La Figura 38 permite identificar los factores de seguridad presentados en el ensamblaje de la máquina roladora, donde el mínimo valor es de 3,10 (3,053), siendo bastante aceptable y elevado para el diseño propuesto, brindando seguridad para la máquina.

**Figura 36**

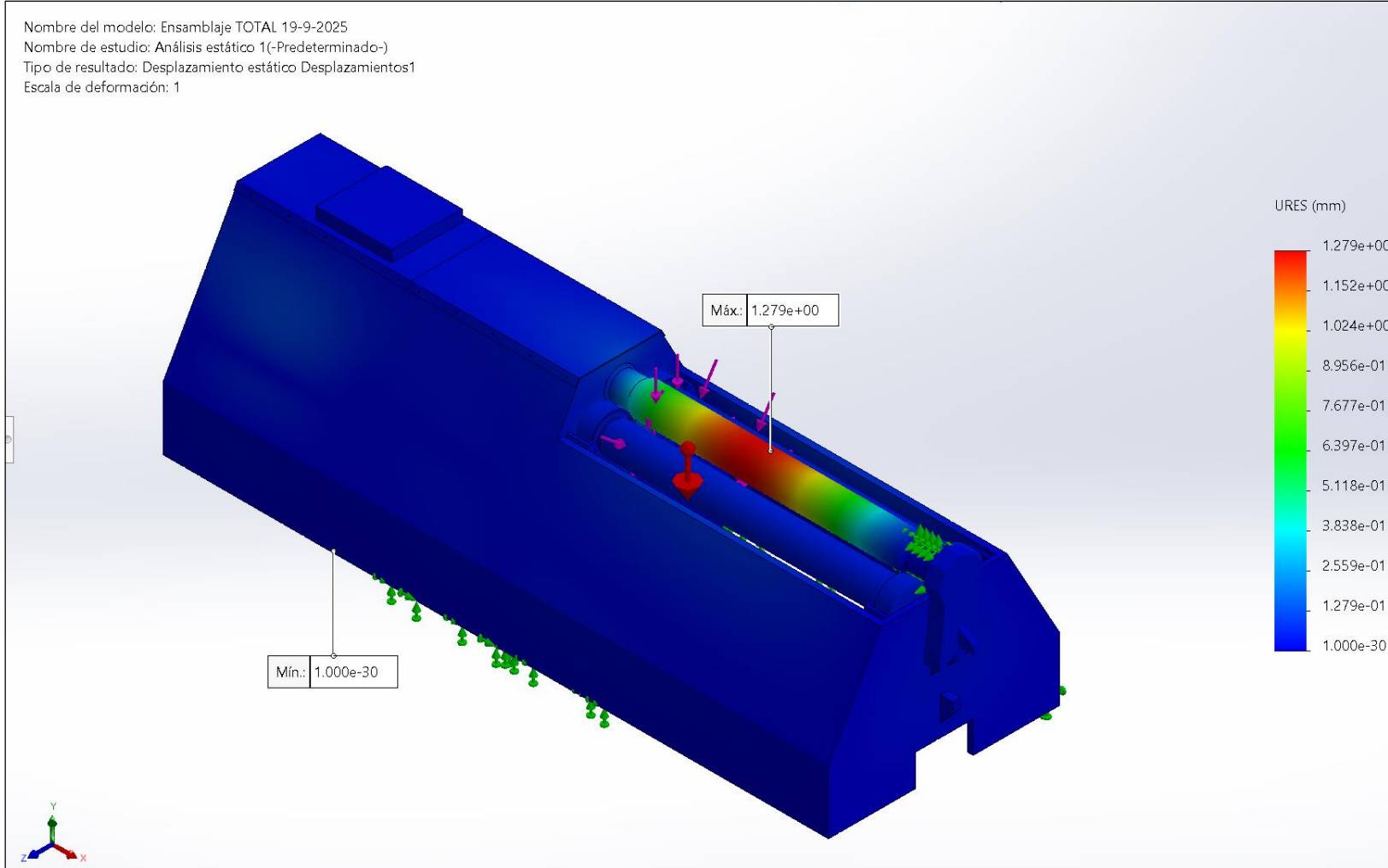
*Tensiones Von Mises originadas en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 37**

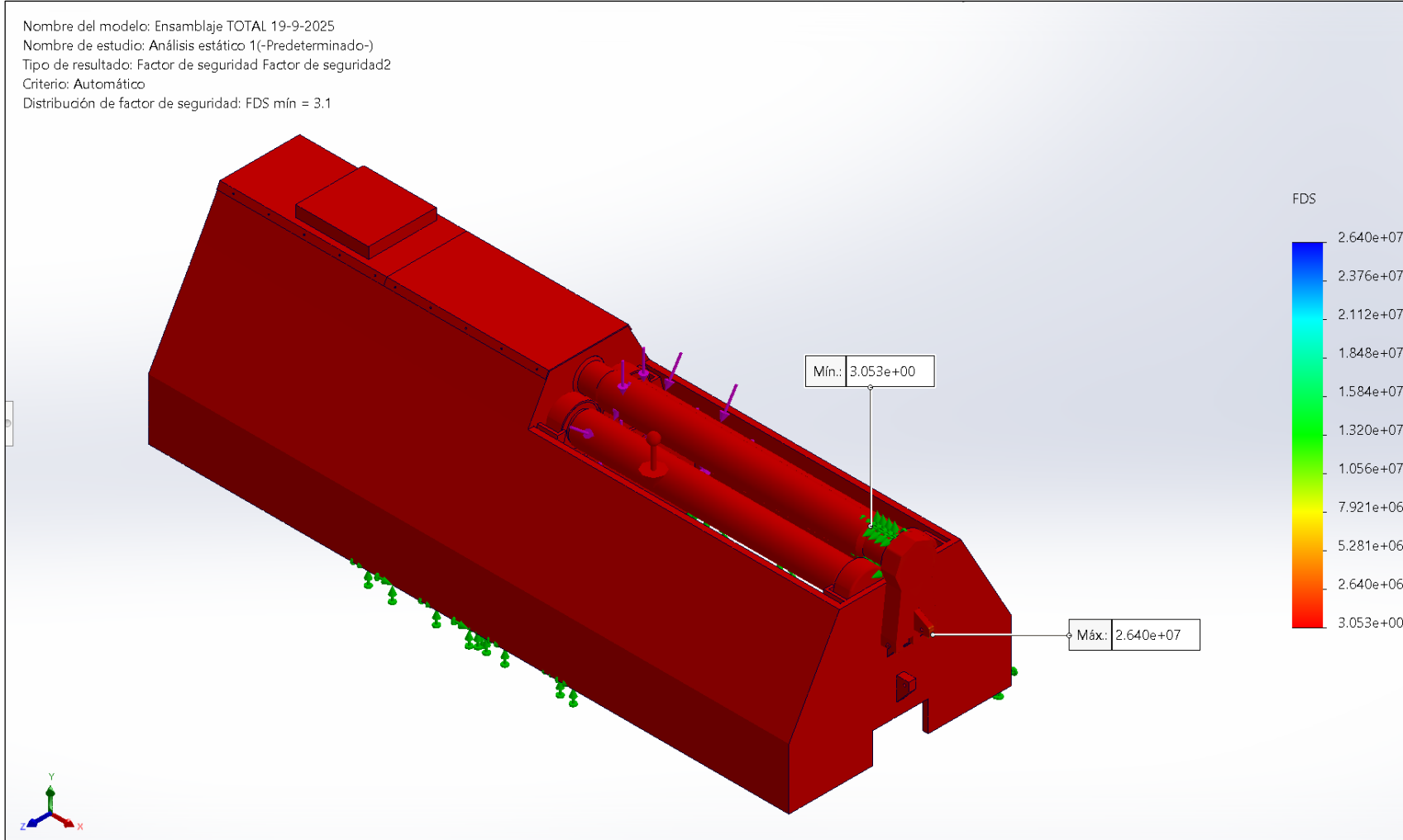
*Desplazamientos originados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 38**

*Factores de seguridad originados en el ensamblaje de la máquina roladora computarizada*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

## **Modelado para el ensamblaje de la máquina roladora computarizada**

Como toda máquina, se ha iniciado con los cálculos respectivos para luego efectuar el diseño, modelado y simulación empleando software CAD/CAE que permita validar dicho diseño. Por ello, se puede mencionar lo siguiente:

La Figura 39 permite ver a detalle el ensamblaje del sistema de transmisión con engranajes de dientes rectos para la máquina roladora computarizada, logrando identificar cada parte como piñones, engranajes, ejes, estructura de soporte, anclaje, entre otros, en las vistas frontal, izquierda, superior e isométrica.

La Figura 40 permite ver a detalle la base de soporte para los elementos estructurales y electromecánicos para la máquina roladora computarizada, donde se puede apreciar donde va alojado el motor, sistema de transmisión, cilindros hidráulicos, rodillos, entre otros elementos, considerando la vista frontal, izquierda, superior e isométrica.

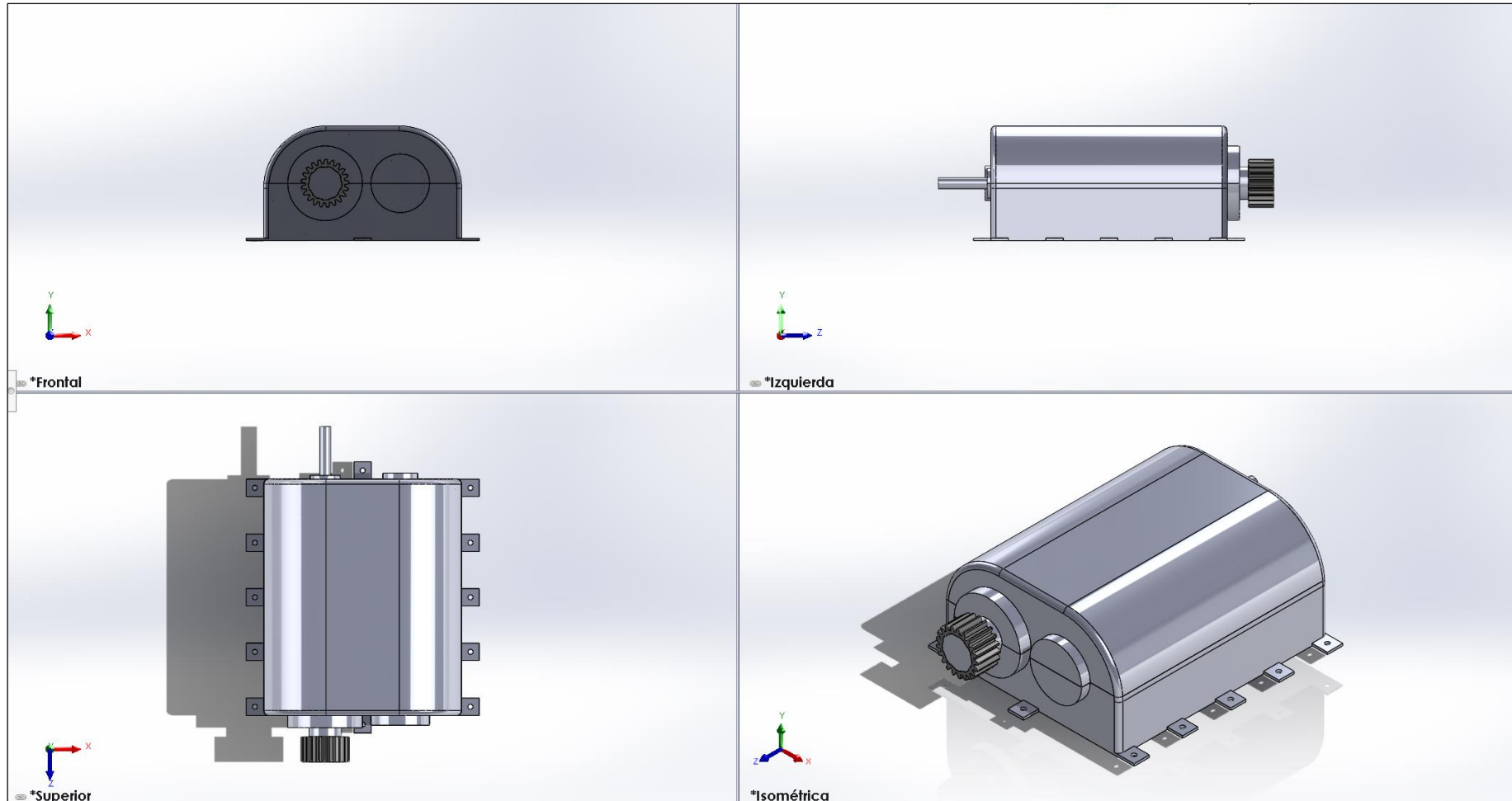
La Figura 41 permite ver a detalle el ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada, pero en vista de transparencia, con el propósito de poder identificar la ubicación de cada elemento que la conforma.

La Figura 42 permite ver el ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada, pero en vista normal, para saber como está conformada la misma, además de las dimensiones que posee para su posterior implementación.

La Figura 43 permite ver el ensamble de la máquina roladora computarizada, pero en su vista isométrica para apreciar mejor dicho diseño propuesto.

**Figura 39**

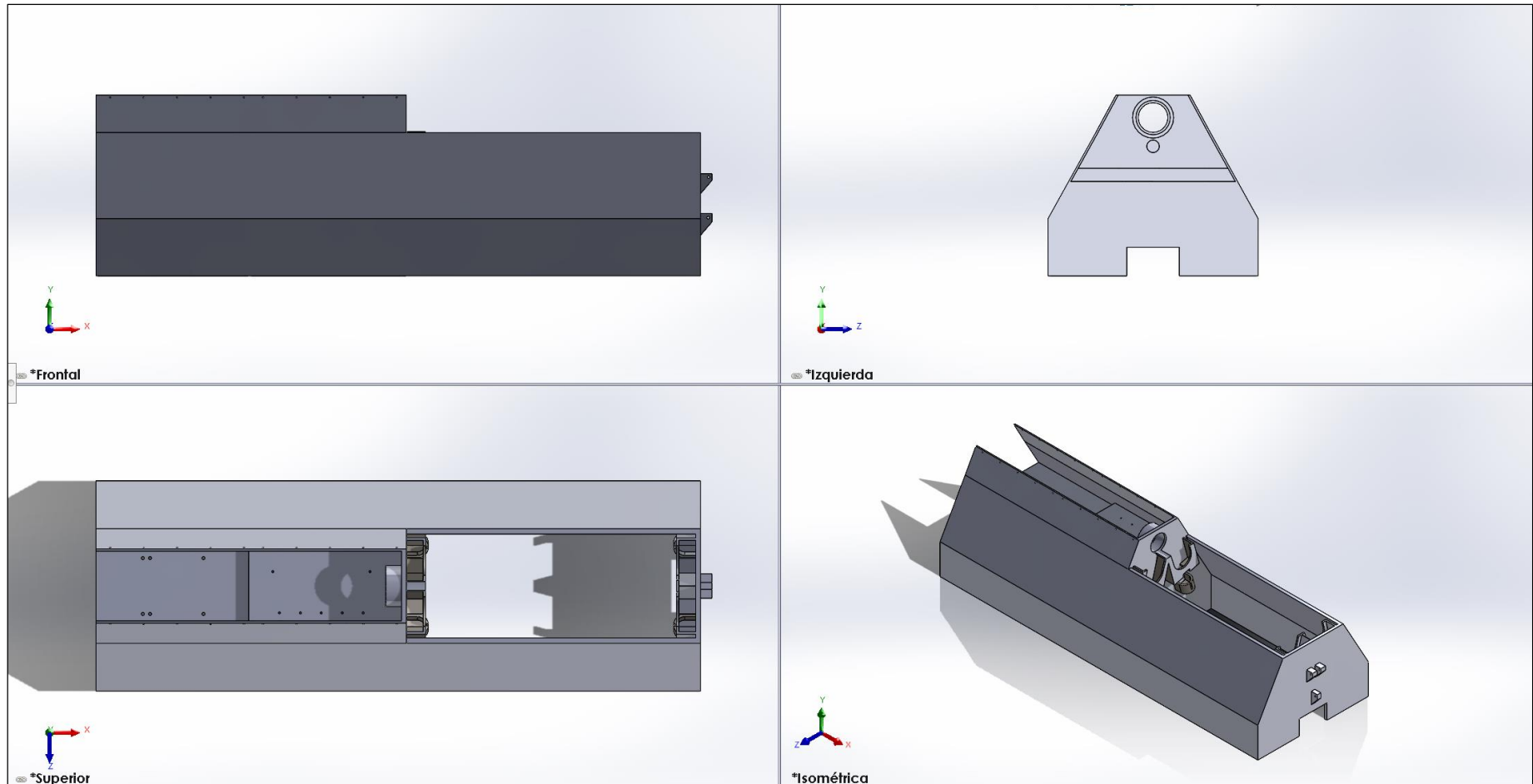
*Ensamblaje del sistema de transmisión con engranajes de dientes rectos para la máquina roladora*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 40**

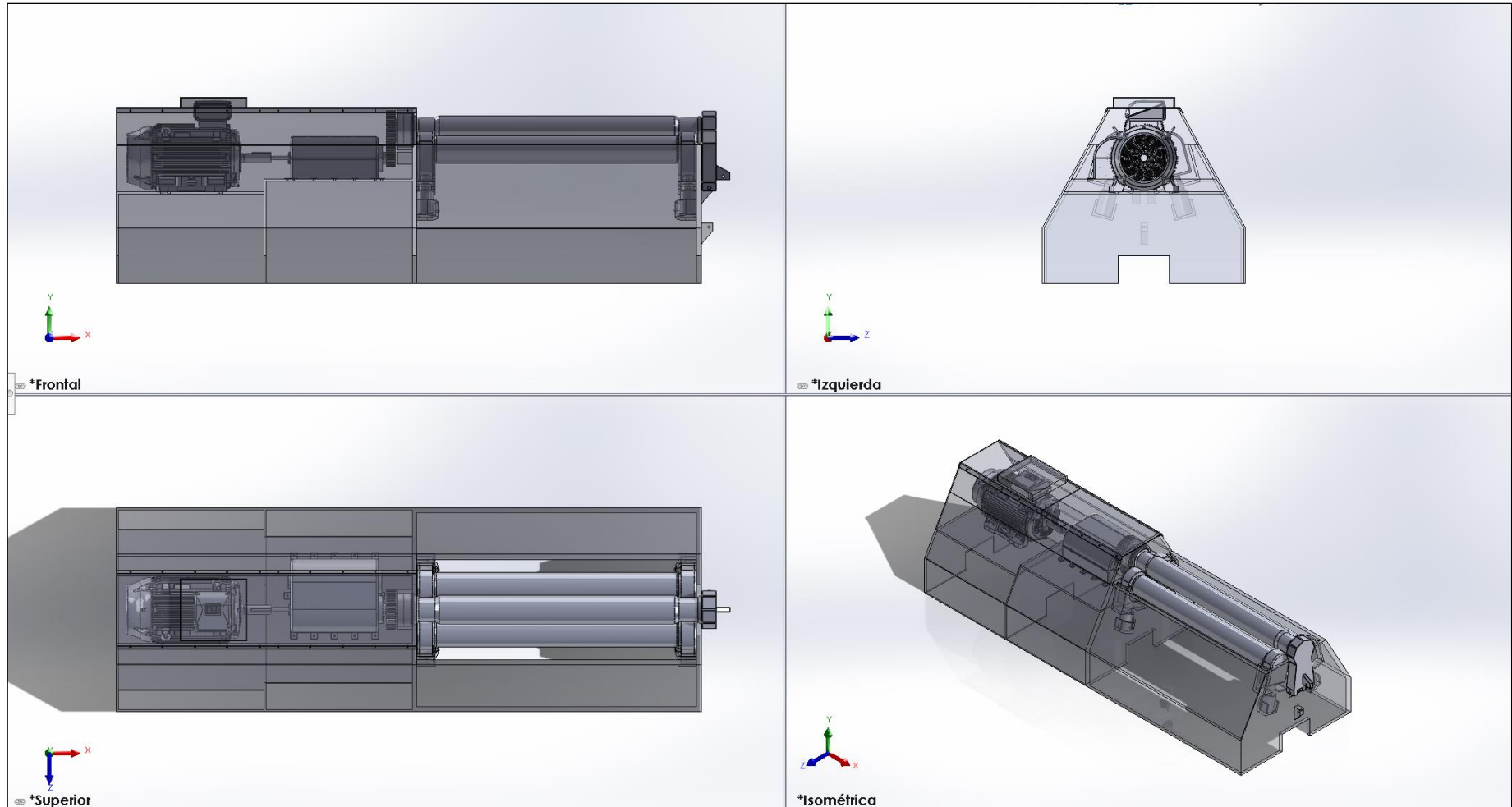
*Base de soporte para elementos estructurales y electromecánicos para la máquina roladora*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 41**

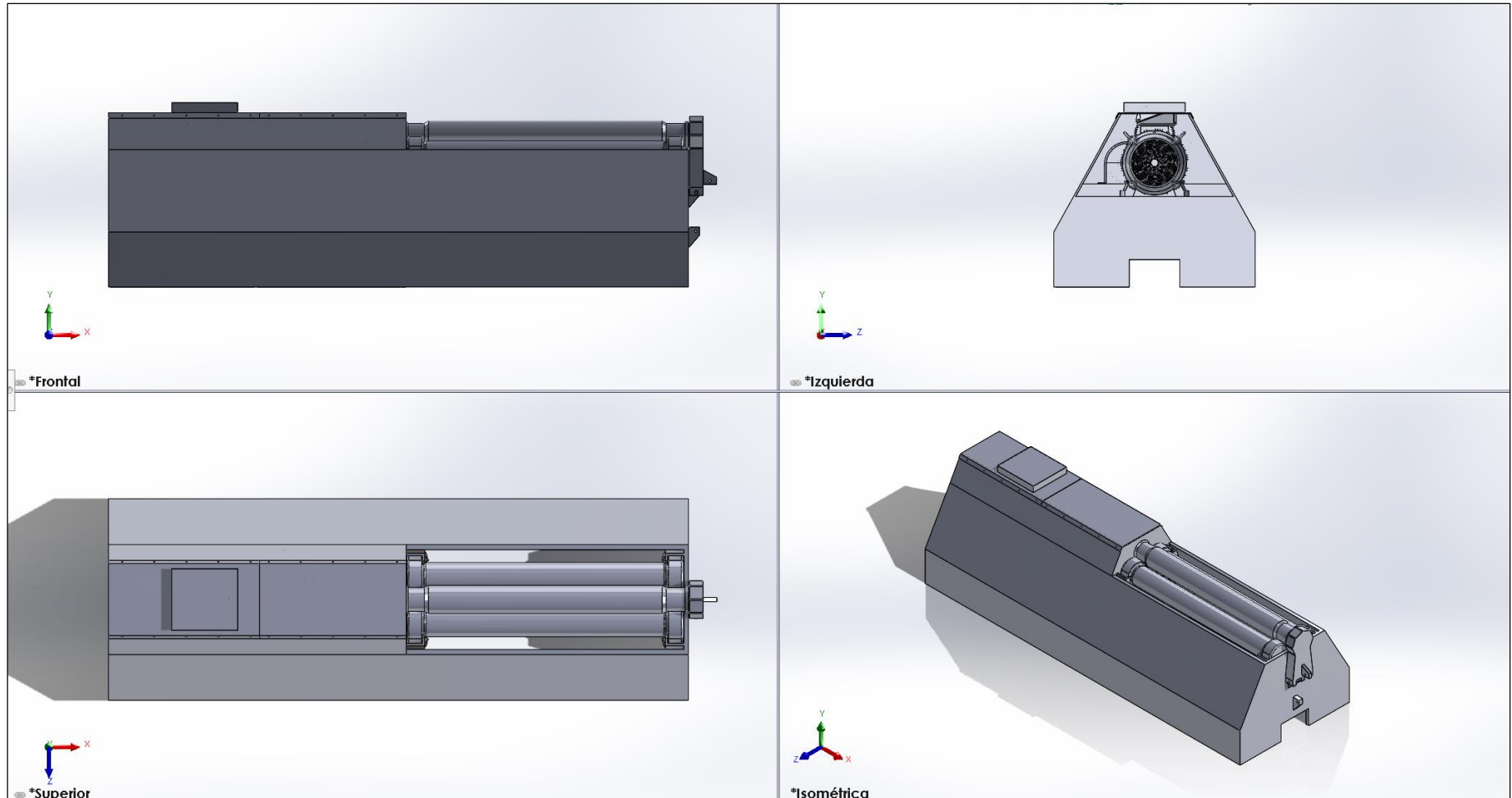
*Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada (vista en transparencia)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 42**

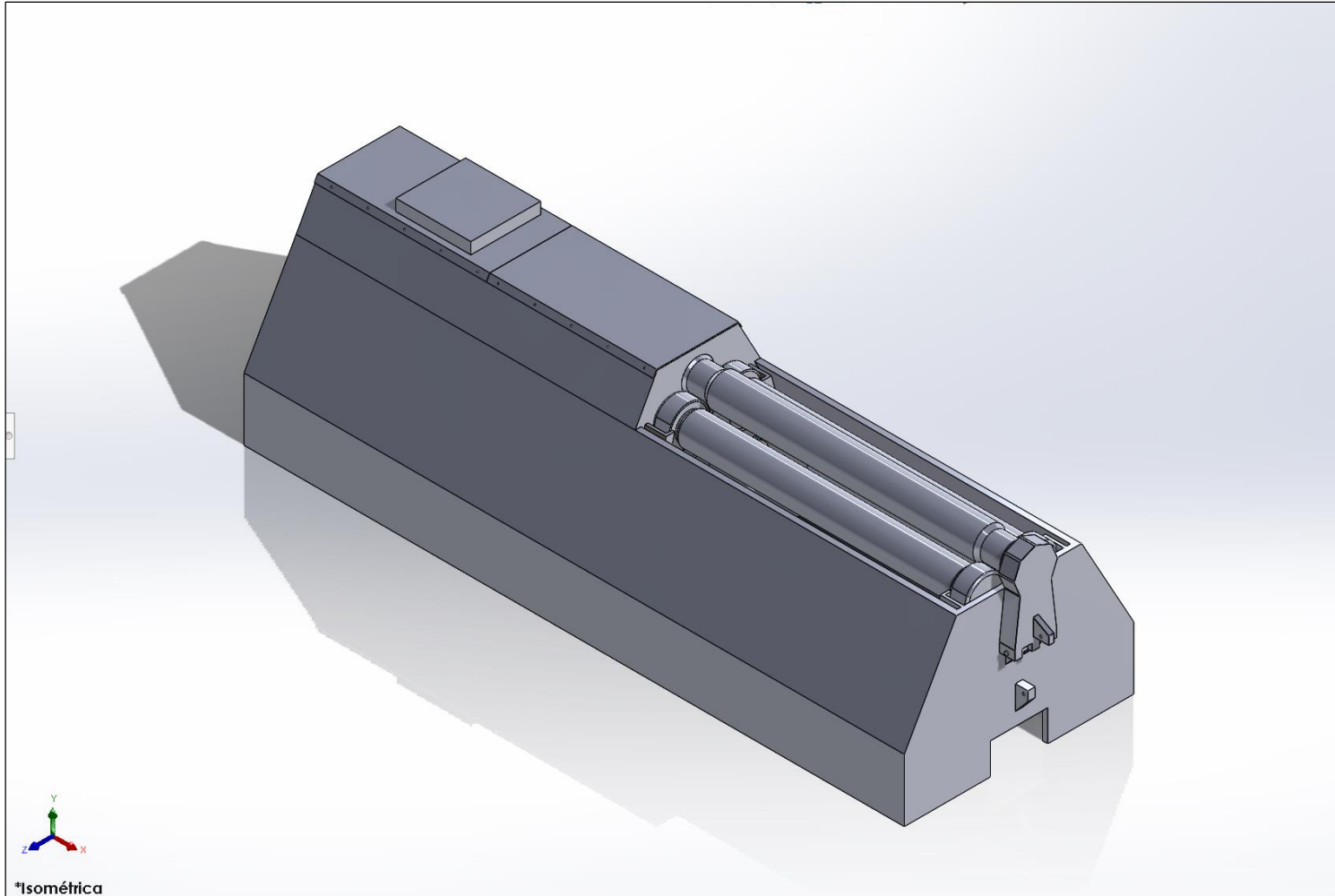
*Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada (vista normal)*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

**Figura 43**

*Ensamblaje de los componentes para obtener la máquina roladora computarizada en vista isométrica*



Nota: Se ha generado con SolidWorks 2022.

#### **5.1.4. Presupuesto y la rentabilidad de la propuesta de diseño**

Al finalizar con los cálculos y modelado de los elementos que conforman la máquina roladora, se procedió con calcular el presupuesto o inversión inicial que conlleva poder fabricarla además de realizar el análisis económico respectivo mediante la obtención de los indicadores VAN y TIR, de modo que se pueda demostrar su factibilidad al cabo del tiempo de vida útil considerada para la máquina que fue de 20 años.

La Tabla 14 muestra la inversión estimada para la máquina roladora computarizada, obteniendo un subtotal de S/.166454,72, que al agregar un IGV de S/.29961,85, se obtiene un subtotal con IGV de S/.196416,57, asumiendo un costo para ensamblaje y puesta en marcha de S/.36283,31, con costos debido a imprevistos de S/.19641,66, se obtiene un costo estimado total de S/.255341,54.

La Tabla 15 muestra el análisis económico y flujo de caja para la factibilidad de la máquina roladora computarizada considerando una tasa de interés para este tipo de proyectos de 10%, para una vida útil del proyecto de 20 años, logrando un ahorro obtenido de S/.272160,00 (S/.3240,00 por 7 trabajos mensuales durante un año), además de un costo de electricidad de S/.147829,99 (incluye costo fijo y costo por potencia generada para la tarifa MT3, verificar en Tabla 13), con un costo de operación de S/.30000,00 (12 sueldos de S/.2500,00 por mes), un costo de mantenimiento anual de S/.7660,25 (aproximadamente el 3% de la inversión). Luego de efectuar los cálculos respectivos, se obtuvo un ingreso total neto para la vida del proyecto de S/.517313,23, con un VAN de S/.261971,70, una TIR de 23,44% y un Payback de 5,73 años para el recupero de la inversión inicial.

**Tabla 13***Costo de energía eléctrica para una tarifa MT3 para la máquina roladora computarizada*

<b>TARIFA MT3</b>				
<b>TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo parcial</b>
Cargo Fijo Mensual	S//mes	11.26	12 meses	S/. 135.12
Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S//kW.h	31.84		
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S//kW.h	27.04	190976 kWh	S/. 51639.91
Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:				
Presentes en Punta	S//kW-mes	57.54		
Presentes Fuera de Punta	S//kW-mes	36.21	1790.4 kW	S/. 64830.38
Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:				
Presentes en Punta	S//kW-mes	17.74		
Presentes Fuera de Punta	S//kW-mes	17.44	1790.4 kW	S/. 31224.58
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S//kVar.h	4.62		
<b>Costo total por tarifa MT3</b>				<b>S/. 147829.99</b>

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 14***Inversión estimada para la máquina roladora computarizada*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo parcial</b>
Motor WEG W22 de 200 HP NEMA Premium	1	Und	S/ 51,973.63	S/ 51,973.63
Rodillo superior en acero AISI 4340 recocido	1	Und	S/ 6,355.93	S/ 6,355.93
Rodillo inferior en acero AISI 4340 recocido	2	Und	S/ 6,101.69	S/ 12,203.39
Soporte móvil para rodillo superior en acero 4340 recocido	1	Und	S/ 1,016.95	S/ 1,016.95
Cilindro hidráulico de 100 toneladas RACL-1004	4	Und	S/ 4,152.54	S/ 16,610.17
Soporte móvil para rodillo inferior en acero 4340 recocido	4	Und	S/ 508.47	S/ 2,033.90
Rodamientos SKF 23952 CC/W33	10	Und	S/ 2,861.84	S/ 28,618.43
Sistema de transmisión con engranajes rectos para 200 HP	1	Glb	S/ 8,050.85	S/ 8,050.85
Piñón exterior de 21 dientes rectos (acero 4340 normalizado)	1	Und	S/ 296.61	S/ 296.61
Engranaje exterior de 50 dientes rectos (acero 4340 normalizado)	1	Und	S/ 864.41	S/ 864.41
Base para soporte de máquina roladora (acero AISI 1020 laminado en frío)	1	Und	S/ 6,779.66	S/ 6,779.66
Tapa de seguridad para sistema de transmisión	1	Und	S/ 381.36	S/ 381.36
Tapa de seguridad para motor eléctrico	1	Und	S/ 381.36	S/ 381.36
Interruptor termomagnético Siemens de 3x320A	1	Und	S/ 1,694.92	S/ 1,694.92
Cable INDECO N2XOH de 240 mm2	54	m	S/ 385.09	S/ 20,794.86
Accesorios (pernos, conectores, tuercas, etcétera)	1	Glb	S/ 1,779.66	S/ 1,779.66
Sistema automático y computarizado	1	Glb	S/ 5,932.20	S/ 5,932.20
Tablero para sistema eléctrico + accesorios	1	Glb	S/ 305.08	S/ 305.08
Tablero para sistema automático y computarizado + accesorios	1	Glb	S/ 381.36	S/ 381.36
<b>Subtotal</b>				<b>S/ 166,454.72</b>
<b>IGV (18% subtotal)</b>				<b>S/ 29,961.85</b>
<b>Subtotal + IGV</b>				<b>S/ 196,416.57</b>
<b>Costo para ensamblaje y puesta en marcha</b>				<b>S/ 39,283.31</b>
<b>Costo debido a imprevistos (10%)</b>				<b>S/ 19,641.66</b>
<b>Costo estimado para máquina roladora computarizada</b>				<b>S/ 255,341.54</b>

Nota: Elaboración propia.

**Tabla 15**

*Análisis económico y flujo de caja para la factibilidad de la máquina roladora computarizada (tasa=10%, 20 años)*

Año	Ahorro obtenido	Costo por consumo de electricidad	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Ingreso Bruto	Impuesto a la renta (30% Ingreso Bruto)	Ingreso Neto	Ingreso Neto Actualizado
2025							-S/. 255,341.54	
2026	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 55,153.48
2027	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 50,139.53
2028	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 45,581.39
2029	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 41,437.63
2030	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 37,670.57
2031	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 34,245.97
2032	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 31,132.70
2033	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 28,302.46
2034	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 25,729.51
2035	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 23,390.46
2036	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 21,264.06
2037	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 19,330.96
2038	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 17,573.60
2039	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 15,976.00
2040	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 14,523.64
2041	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 13,203.31
2042	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 12,003.00
2043	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 10,911.82
2044	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 9,919.84
2045	S/. 272,160.00	S/. 147,829.99	S/. 30,000.00	S/. 7,660.25	S/. 86,669.76	S/. 26,000.93	S/. 60,668.83	S/ 9,018.04
<b>Ingreso total neto en 20 años</b>								<b>S/. 516,507.96</b>
<b>VAN</b>								<b>S/. 261,166.43</b>
<b>TIR</b>								<b>23.41%</b>
<b>Payback</b>								<b>5.74 años</b>

Nota: Elaboración propia.

## 5.2. Discusión de resultados

El análisis del proceso productivo mostró que la fase de rolado es la más costosa, con un gasto de S/.3240,00 del total de S/.15 435,00, debido a la tercerización y a la logística asociada. Esto se asemeja a lo planteado por Nepo y Ochoa (2024), quienes identificaron que la externalización del rolado en Chiclayo implicaba un costo de S/.1950 por trabajo y una demora de 26 horas, mientras que la implementación de su máquina propia reducía sustancialmente ambos indicadores. En ambos estudios, los resultados evidencian que la adquisición de una máquina propia representa una alternativa estratégica para disminuir costos y tiempos productivos.

En el dimensionamiento de la máquina roladora computarizada, se confirmó su capacidad para trabajar planchas de hasta 25 mm de espesor, 6 m de longitud y 2.40 m de ancho, integrando un motor de 200 HP junto con rodillos, rodamientos y cilindros hidráulicos. Este hallazgo coincide con lo señalado por Ramírez (2022), quien, al dimensionar el sistema hidráulico de una roladora de tres rodillos, concluyó que la incorporación de cilindros, válvulas de control y un motor eléctrico garantizaba eficiencia y seguridad, alcanzando un VAN de S/.26 076,34 y una TIR del 70%. Asimismo, Estrada (2023) demostró en Trujillo que su diseño de máquina, con capacidad de curvar planchas de 6 mm de espesor y producir dos cilindros por hora, resultó funcional y económico, validando que un dimensionamiento adecuado asegura durabilidad y operatividad.

La simulación en SolidWorks 2022 evidenció que los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad se mantuvieron dentro de rangos seguros, con desplazamientos mínimos, confirmando la confiabilidad del diseño. Esto concuerda con Corrales y Vargas (2024), quienes al construir una roladora de 3 mm de espesor y 1200 mm de ancho en Arequipa comprobaron mediante simulaciones que su prototipo mantenía un comportamiento estructural estable bajo cargas operativas. Del mismo modo, García (2019) verificó factores de seguridad de 3.49 y 3.57 en los rodillos de su máquina, así como una vida útil de 16 168 horas para los rodamientos

superiores, resultados que se relacionan con la proyección de 54 440 horas obtenida en este estudio, reforzando la validez de las pruebas realizadas.

En términos financieros, la inversión inicial de S/.255 341,54 permitió obtener un VAN de S/.261 166.43, una TIR del 23,41% y un periodo de recuperación de 5,74 años, confirmando la rentabilidad del proyecto. Estos resultados guardan relación con lo reportado por Menoscabal y Villacís (2021), quienes construyeron una máquina con un costo de \$5956,23, equivalente al 50% de una similar en el mercado, evidenciando la viabilidad económica de este tipo de proyectos. Asimismo, Yigang et al. (2023) destacaron que el uso de cilindros servos eléctricos en dobladoras CNC no solo mejora la precisión, sino que también aumenta la eficiencia global del proceso, impactando positivamente en la rentabilidad. Finalmente, Nepo y Ochoa (2024) demostraron con su diseño un VAN de S/.153 744,28, una TIR del 58,21% y un periodo de recuperación de 1,88 años, resultados que, al igual que en este estudio, reafirman la factibilidad técnica y económica de implementar estas soluciones.

## CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La empresa electromecánica cuenta con un proceso productivo claramente estructurado en siete fases consecutivas, que abarcan desde el diseño inicial hasta los acabados finales, acumulando un tiempo total de 186 horas y un costo promedio de S/.15435,00, donde cada etapa presenta tiempos y costos definidos, destacando la fase de rolado como la más compleja y costosa debido a su tercerización, logística de transporte y gestión de demoras, lo que representa S/.3240,00 del total.
- El dimensionamiento realizado confirma que la máquina roladora computarizada responde a las necesidades de la empresa, al permitir el rolado de planchas de acero de hasta 25 mm de espesor, 6 m de largo con 2,40 m de ancho, con un diseño que integra rodillos, rodamientos, cilindros hidráulicos y un motor de 200 HP junto a su sistema de transmisión. Además, se comprobó su vida útil proyectada, el correcto funcionamiento eléctrico y la eficiencia en el consumo de energía, asegurando un equipo confiable, seguro y adecuado para la producción requerida.
- La simulación en SolidWorks 2022 confirmó que los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en los elementos y el ensamblaje de la máquina roladora permanecen dentro de límites seguros, con desplazamientos mínimos y valores de seguridad adecuados, validando que el diseño estructural es confiable y apto para el rolado de planchas metálicas de hasta una pulgada de espesor.
- El análisis económico de la propuesta evidenció que con una inversión inicial aproximada de S/.255341,54, la máquina roladora resulta financieramente viable, alcanzando un VAN de S/.261166,43, una TIR de 23,41% y un periodo de recuperación de 5,74 años, demostrando que el proyecto no solo es rentable dentro de su vida útil de 20 años, sino que también garantiza un retorno atractivo de la inversión, confirmando su factibilidad técnica y económica para la empresa.

## **6.2. Recomendaciones**

- Sería recomendable profundizar en la optimización de las fases productivas, en especial la de rolado, a fin de valorar alternativas que reduzcan los costos y tiempos derivados de la tercerización y la logística asociada.
- Conviene considerar estudios que analicen la durabilidad real de los componentes críticos de la máquina durante su operación continua, para contrastar la vida útil proyectada con las condiciones de uso en planta.
- Resulta pertinente evaluar en futuros trabajos distintos escenarios de rentabilidad bajo variaciones en la demanda, costos energéticos y de mantenimiento, con el fin de verificar la estabilidad financiera del proyecto a largo plazo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, J. M. (1972). On the theory of rolling. *Proceedings of the Royal Society*, 326, 535-563. <https://doi.org/10.1098/rspa.1972.0025>
- Awapara, O. (2023). The Regional Impact of Free Trade: An Empirical Analysis. *The Geography of Trade Liberalization*, 91-132. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-23420-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-23420-0_3)
- Corrales Tejada, H. M., & Vargas Ccasa, J. A. (2024). *Diseño y Fabricación de una Roladora de Planchas*. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Santa María.
- Craveiro, F., Pinto Duarte, J., Bartolo, H., & Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*, 103, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
- Direct Industry. (2024). *Máquina roladora con 3 rodillos motores MAV*. DAVI: <https://www.directindustry.es/prod/davi-promau/product-16273-360803.html>
- Estrada Revilla, J. K. (2023). *Diseño de una roladora mecánica*. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2021). Transitioning of Steel Producers to the Steelworks 4.0—Literature Review with Case Studies. *Energies*, 14(14), 1-22. <https://doi.org/10.3390/en14144109>
- García Meza, F. S. (2019). *Diseño de una máquina roladora para el distrito de Pichanaki*. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Gil Sánchez, S. S. (2022). *Automatización de una máquina roladora de lámina para cortina metálica en la empresa Portones y Sistemas Automáticos Barth S.A.* Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Hu, Z., Wei, Z., Sun, H., Yang, J., & Wei, L. (2021). Optimization of Metal Rolling Control Using Soft Computing Approaches: A Review. *Archives of*

- Computational Methods in Engineering*, 28, 405-421.  
<https://doi.org/10.1007/s11831-019-09380-6>
- Huang, C. J., Talla Chicoma, E. D., & Huang, Y. H. (2019). Evaluating the Factors that are Affecting the Implementation of Industry 4.0 Technologies in Manufacturing MSMEs, the Case of Peru. *Processes*, 7(3), 1-24.  
<https://doi.org/10.3390/pr7030161>
- Huari Chávez, J. D. (2020). *Diseño de una máquina dobladora de estribos y roladora de platinas*. Repositorio de la Universidad Continental.
- Ikumapayi, O. M., Akinlabi, E. T., & Abolusoro, O. P. (2020). Rolling operation in metal forming: Process and principles – A brief study. *Materials today: Proceedings*, 26(2), 1644-1649. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.343>
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2012). *Fundamentals of Machine Component Design*. John Wiley & Sons.
- Lee, J., Jun Park, H., Chai, S., Ri Kim, G., Yong, H., Joo Bae, S., & Kwon, D. (2021). Review on Quality Control Methods in Metal Additive Manufacturing. *Applied Sciences*, 11(4), 1-15. <https://doi.org/10.3390/app11041966>
- León Gutierrez, A. G. (2023). *Propuesta de mejora en la gestión financiera para aumentar la rentabilidad de una empresa farmacéutica, Trujillo 2023*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Liu, H., Sun, Q., Zhao, Y., Song, Z., & Wang, J. (2023). Design of three-roll bending machine tool and research on compensation algorithm. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(9), 1-12.  
<https://doi.org/10.1177/16878132231196090>
- Llive Guerrero, B. G., & Imbaquingo Cacuango, K. S. (2020). *Diseño y construcción de una roladora semiautomática para elementos esbeltos estructurales para la metalmecánica de San Bartolo*. Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional.
- Menoscabal Noriega, F. D., & Villacis Laje, K. F. (2021). *Diseño y construcción de una máquina roladora hidráulica de perfiles en la empresa "Agroindustrias Montenegro"*. Repositorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

- Mercuri, A., Fanelli, P., Giorgetti, F., Rubino, G., & Stefanini, C. (2021). Experimental and numerical analysis of roll bending process of thick metal sheets. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1038, 1-15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1038/1/012067>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: PEARSON .
- Nepo Chero, R. L., & Ochoa Chapa, C. O. (2024). *Dimensionamiento de máquina roladora de 3/8" para mejorar los tiempos de producción en una empresa metalmecánica en Chiclayo*. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.
- Orosz, T., Rassõlkin, A., Kallaste, A., Arsénio, P., Pánek, D., Kaska, J., & Karban, P. (2020). Robust Design Optimization and Emerging Technologies for Electrical Machines: Challenges and Open Problems. *Applied Sciences*, 10(19), 1-33. <https://doi.org/10.3390/app10196653>
- Qosimova, Z. M., & Rubidinovsh, G. (2021). Influence of the Design of the Rolling Roller on the Quality of the Surface Layer During Plastic Deformation on the Workpiece. *International Journal of Human Computing Studies*, 3(2), 257.263.
- Ramirez Flores, K. M. (2022). *Rediseño del sistema de aplicación de la fuerza de curvado de la máquina roladora manual de perfiles de la Empresa Talleres Unidos Ingeniería e Inversiones S.A.C*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
- Seclen-Luna, J. P., Castro Vergara, R. I., & Lopez Valladares, H. (2022). Effects of the use of digital technologies on the performance of firms in a developing country: are there differences between creative and manufacturing industries? *International Journal of Information Systems and Project Management*, 10(1), 73-91.
- Sevilla Arias, A. (05 de noviembre de 2016). *Productividad*. Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/productividad.html>
- Tecno Maquinaria. (24 de junio de 2024). *Roladora de lámina ESR-4.5x1300*. Tecno Maquinaria: <https://www.tecnomaquinaria.com/producto/roladora-de-lamina-esr-4-5x1300/>

- Trzepieciński, T. (2020). Recent Developments and Trends in Sheet Metal Forming. *Metals*, 10(6), 1-54. <https://doi.org/10.3390/met10060779>
- Yigang, J., Shangsheng, J., Qun, S., Ying, Z., Zhihao, S., Xiangyan, M., & Hengzhen, L. (2023). Design and development of high precision four roll CNC roll bending machine and automatic control model. *Scientific Reports*, 13(12954), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40204-7>
- Zhao, Z., Zhou, M., Guo, X., & Qi, L. (2020). Decomposition Method for New Single-Machine Scheduling Problems From Steel Production Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(3), 1376-1387. <https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2953669>

## ANEXOS

### Anexo 1 – Instrumento de recolección de datos

#### Registro de datos

Para recolectar datos precisos sobre los tiempos y costos de ejecución, se puede utilizar el siguiente formato de observación.

Formato de Observación para Recolección de Datos

Nombre del Operario: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

<b>Etapas del proceso productivo</b>	<b>Hora de Inicio</b>	<b>Hora de término</b>	<b>Tiempo total (h)</b>	<b>Costo total (S/.)</b>	<b>Observaciones</b>
Diseño e Ingeniería					
Preparación del material					
Maquinado de piezas					
Proceso de rolado					
Soldadura y ensamblaje					
Inspección y control de calidad					
Trabajos de acabado					
<b>Total</b>					

#### Instrucciones para el Operario:

1. Completar el formato al inicio y término de cada etapa del proceso productivo.
2. Registrar cualquier observación relevante que pueda afectar los tiempos y costos de ejecución.

## Anexo 2 – Ficha técnica de plancha metálica para rolado

**PLANCHAS Y BOBINAS  
LAMINADAS EN CALIENTE (LAC)**  
CALIDAD COMERCIAL



### PROPIEDADES MECÁNICAS

NORMA TÉCNICA	TIPO	LÍMITE DE FLUENCIA MPa	CARGA DE ROTURA MPa	ELONGACIÓN % ≥
ASTM A 1011/A 1011M CS	B	* 205 - 340	-	* 25 ( 2" )

\* **DATO REFERENCIAL:** Solo se garantiza el doblado.

( ) Tamaño de probeta.

**NORMAS EQUIVALENTES ó APROXIMADAS:** JIS G 3131 SPHC, ASTM A 569/A 569M

### DIMENSIONES ESTÁNDAR

DIMENSIONES mm	PESO TEÓRICO EN kg/plancha		TOLERANCIA EN EL ESPESOR mm ±	ESPESOR EQUIVALENTE ó APROXIMADO
	1,200 X 2,400 mm	1,200 X 6,000 mm		
1.50	33.91		0.18	1/16"
1.80	40.69		0.19	9/128"
1.90	42.96		0.19	9/128"
2.00	45.22	113.04	0.20	5/64"
2.30	52.00	130.00	0.20	1/11"
2.40	54.26	135.65	0.20	3/32"
2.50	56.52	141.30	0.22	3/32"
2.90	65.56	163.91	0.22	1/8"
3.90	88.17	220.43	0.24	5/32"
4.40	99.48	248.69	0.45	3/16"
5.90	133.39	333.47	0.50	1/4"
8.00	180.86	452.16	0.55	5/16"
9.00	203.47		0.55	3/8"
12.00	271.30		0.55	1/2"
16.00	361.73		0.65	5/8"
20.00	452.16		0.65	3/4"
25.00	565.20		0.70	1"
32.00	723.46		0.70	1 1/4"
38.00	859.10		0.70	1 1/2"
50.00	1,130.40		0.80	2"
63.00	1,424.30		0.90	2 1/2"
75.00	1,695.60		0.90	3"
100.00	2,260.80		1.30	4"
150.00	3,391.20		1.30	6"

**TOLERANCIAS:** De acuerdo al JIS G 3193.

**BOBINAS:** Hasta 16,0 mm se suministran en bobinas completas.

**LONGITUDES DIFERENTES:** previa coordinación.

**USOS:** Con relación a sus propiedades mecánicas, se utiliza en partes y piezas de poca responsabilidad, carrocerías, autopartes, perfiles, tolvas, tubos, etc.



## Anexo 3 – Ficha técnica de motor WEG W22 200 HP

HOJA DE DATOS						
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula						
Cliente : _____						
Línea del producto		: W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency Trifásico		Código del producto		12981514
Carcasa	: 586/7T	Tiempo de rotor bloqueado	: 72s (frío) 40s (caliente)			
Potencia	: 200 HP (150 kW)	Elevación de temperatura	: 80 K			
Polos	: 8	Régimen de servicio	: Cont.(S1)			
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C			
Tensión nominal	: 460 V	Altitud	: 1000 m			
Corriente nominal	: 247 A	Grado de protección	: IP56			
Corriente de arranque	: 1556 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC			
Ip/In	: 6.3x(Cód. G)	Forma constructiva	: F-1			
Corriente en vacío	: 100 A	Sentido de giro <sup>1</sup>	: Ambos			
Rotación nominal	: 894 rpm	Nivel de ruido <sup>2</sup>	: 75.0 dB(A)			
Resbalamiento	: 0.67 %	Método de Arranque	: Partida directa			
Torque nominal	: 1590 Nm	Masa aproximada <sup>3</sup>	: 1512 kg			
Torque de arranque	: 140 %					
Torque máximo	: 210 %					
Clase de aislamiento	: F					
Factor de servicio	: 1.15					
Momento de inercia (J)	: 14.8 kgm <sup>2</sup>					
Categoría	: B					
Potencia	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación		
Rendimiento (%)	95.0	95.4	95.4	Tracción máxima : 20027 N		
Cos Φ	0.65	0.75	0.80	Compresión máxima : 34860 N		
Pérdidas en puntos de funcionamiento estándar (velocidad; par), en porcentaje de la potencia nominal						
P1 (0,9;1,0)	P2 (0,5;1,0)	P3 (0,25;1,0)	P4 (0,9;0,5)	P5 (0,5;0,5)	P6 (0,5;0,25)	P7 (0,25;0,25)
4.9	3.8	3.3	2.7	1.8	1.3	0.8
<u>Delantero</u>			<u>Trasero</u>			
Tipo de cojinete	:	6322 C3	6319 C3			
Sello	:	Inpro/Seal	Inpro/Seal			
Intervalo de lubricación	:	14000 h	17000 h			
Cantidad de lubricante	:	60 g	45 g			
Tipo de lubricante	:	Mobil Polyrex EM				
Notas						
Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada. (1) Mirando la punta delantera del eje del motor. (2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A). (3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación. (4) Al 100% de la carga completa.				Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma NEMA MG-1.		
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor						
Verificador					Pagina	Revisión
Fecha	18/06/2025				1 / 5	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso

# HOJA DE DATOS

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente :

## Informaciones del resistor de caldeo

Tensión: 200 - 240 V

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Página	Revisión
Fecha	18/06/2025		2 / 5	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso

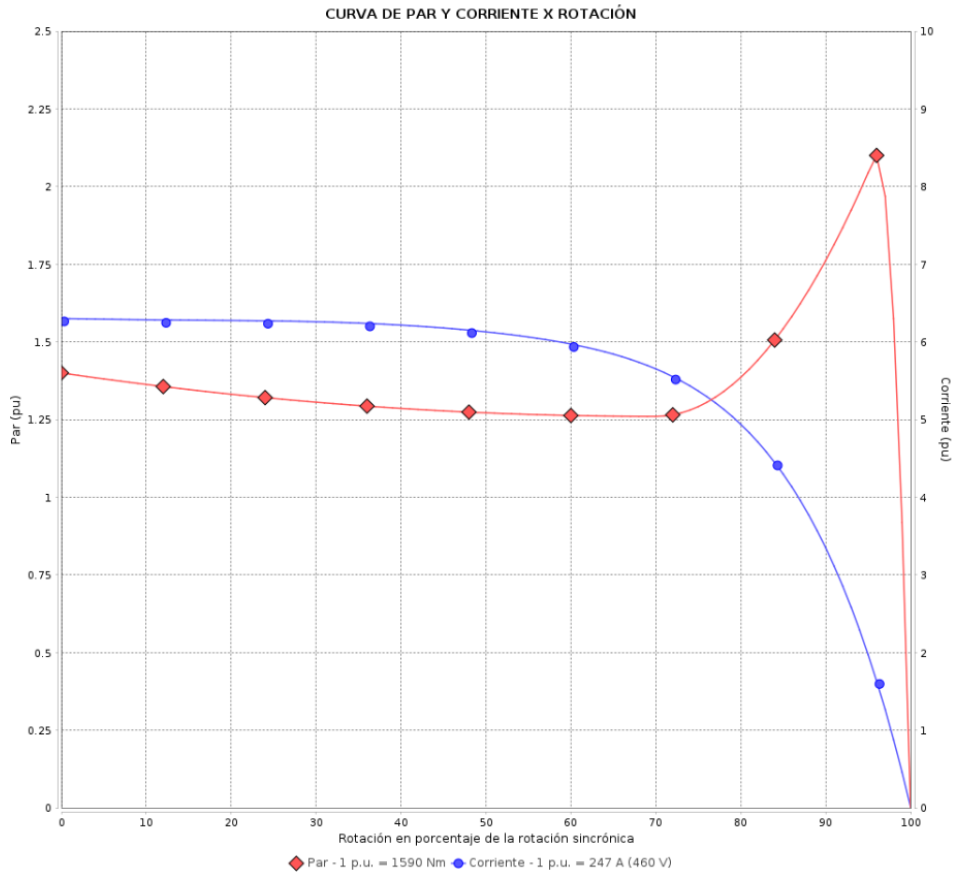
# CURVA DE PAR Y CORRIENTE X ROTACIÓN

## Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente : \_\_\_\_\_

Línea del producto : W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency Trifásico      Código del producto : 12981514



Desempeño : 460 V 60 Hz 8P

Corriente nominal : 247 A	Momento de inercia (J) : 14.8 kgm <sup>2</sup>
lp/ln : 6.3	Régimen de servicio : Cont.(S1)
Torque nominal : 1590 Nm	Clase de aislamiento : F
Torque de arranque : 140 %	Factor de servicio : 1.15
Torque máximo : 210 %	Elevación de temperatura : 80 K
Rotación nominal : 894 rpm	Categoría : B

Tiempo de rotor bloqueado : 72s (frío) 40s (caliente)

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor			Página	Revisión
Verificador			3 / 5	
Fecha	18/06/2025			

Propiedad de WEG S.A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso

# CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



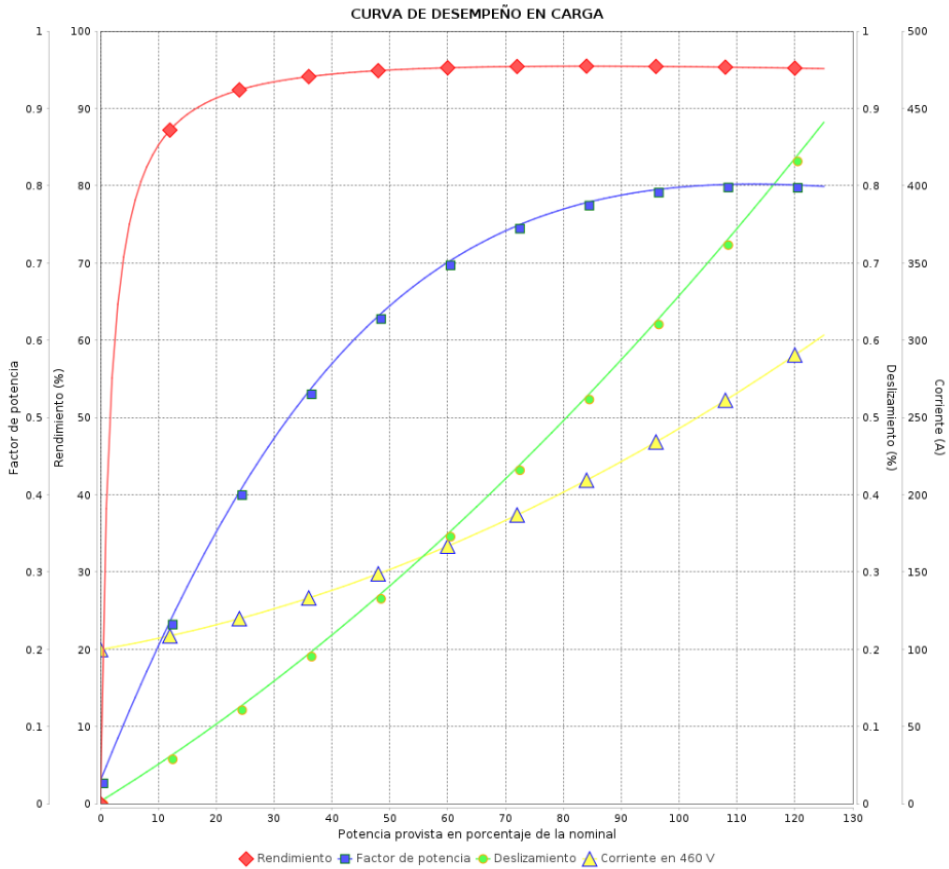
Cliente :

Línea del producto

: W22 IEEE 841 NEMA Premium  
Efficiency Trifásico

Código del  
producto :

12981514



Desempeño : 460 V 60 Hz 8P

Corriente nominal	: 247 A	Momento de inercia (J)	: 14.8 kgm <sup>2</sup>
Ip/In	: 6.3	Régimen de servicio	: Cont.(S1)
Torque nominal	: 1590 Nm	Clase de aislamiento	: F
Torque de arranque	: 140 %	Factor de servicio	: 1.15
Torque máximo	: 210 %	Elevación de temperatura	: 80 K
Rotación nominal	: 894 rpm	Categoría	: B

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Página	Revisión
Fecha	18/06/2025		4 / 5	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso

# CURVA DE LÍMITE TÉRMICO

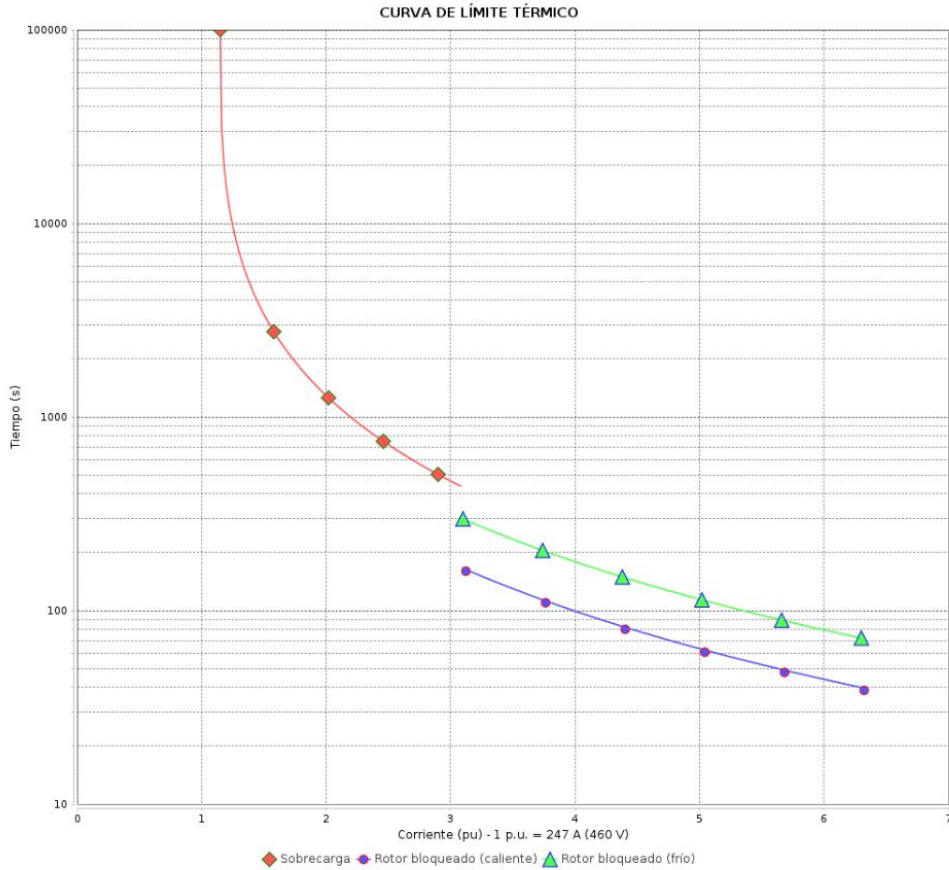
## Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente :

Línea del producto : W22 IEEE 841 NEMA Premium Efficiency Trifásico

Código del producto : 12981514



Desempeño : 460 V 60 Hz 8P

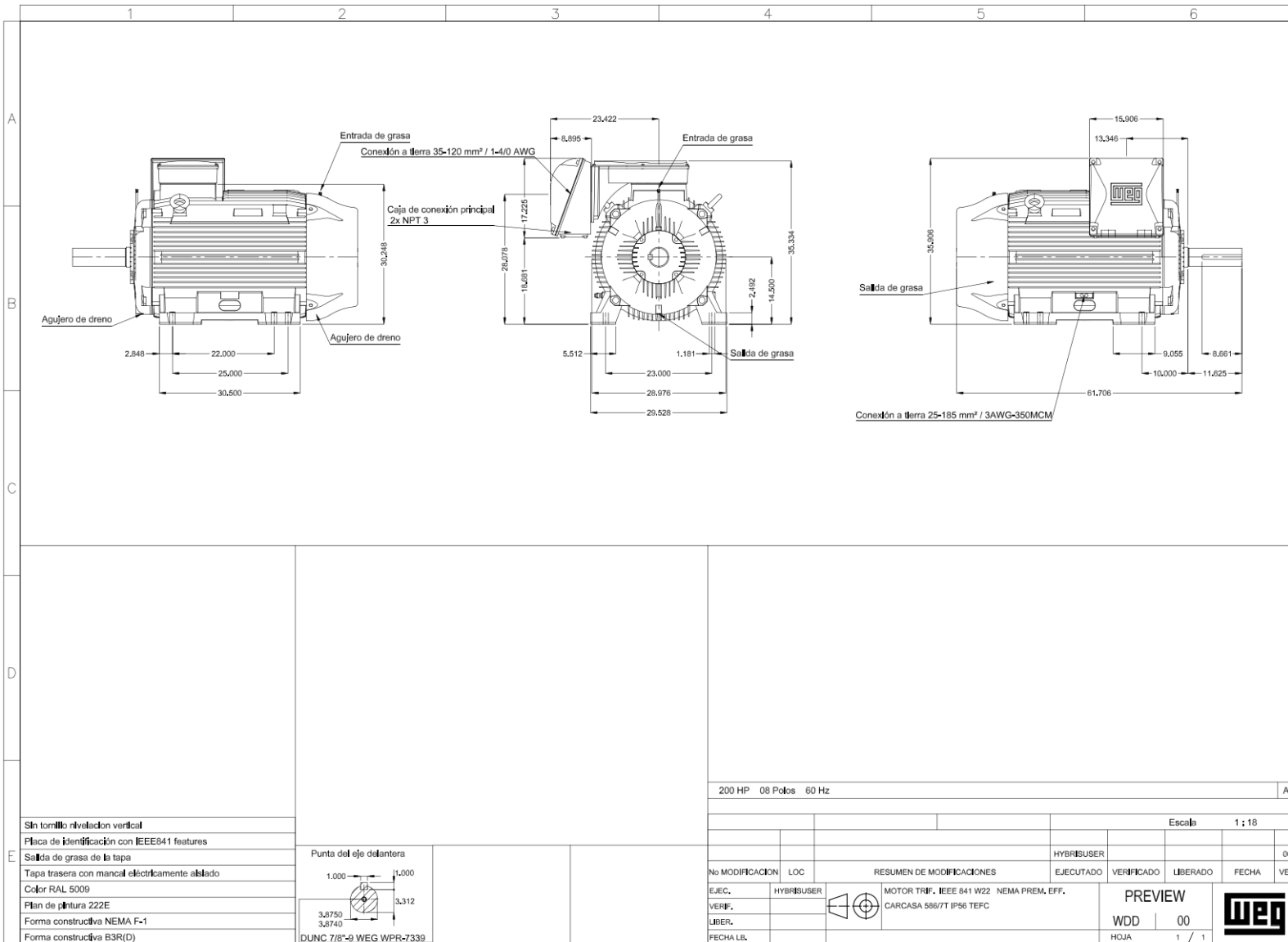
Corriente nominal	: 247 A	Momento de inercia (J)	: 14.8 kgm <sup>2</sup>
Ip/In	: 6.3	Régimen de servicio	: Cont.(S1)
Torque nominal	: 1590 Nm	Clase de aislamiento	: F
Torque de arranque	: 140 %	Factor de servicio	: 1.15
Torque máximo	: 210 %	Elevación de temperatura	: 80 K
Rotación nominal	: 894 rpm	Categoría	: B

Constante de calentamiento

Constante de enfriamiento

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Página	Revisión
Fecha	18/06/2025		5 / 5	

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
Sujeto a cambios sin previo aviso



Propiedad de WEG. Reproducción prohibida sin previa autorización.

Dimensiones en pulgadas

A2

## Anexo 4 – Ficha técnica de cilindro hidráulico RIVERLAKE RACL-1004



**RIVERLAKE**

**RIVERLAKE**  
RELIABILITY · DURABILITY · SAFETY

**SERVICE SCOPE**

**TAIZHOU CHUANHU HYDRAULIC MACHINERY CO., LTD.**  
Add: Unit 2, Building 83, Chuangrong Chengbei  
Industrial Zone, Yucheng Street, Yuhuan City, Taizhou  
City, Zhejiang Province, China. 317606.  
Mobile: 0086 13566022326  
Whatsapp/Wechat: 0086 15868609134  
Email: [info@riverlakeco.com](mailto:info@riverlakeco.com)  
Web: <https://www.riverlakeco.com>

Taizhou Chuanhu Hydraulic Machinery Co., LTD.

## RACL-Series, Single Acting Aluminum Lock Nut Hydraulic Cylinders

### Product Introduction

#### ▼ RACL-Series, Single Acting Aluminum Lock Nut Hydraulic Cylinders



#### Think Safety

Manufacturer's rating of load and stroke are maximum safe limits.

Good practice encourages using only 80% of these ratings.

- The aluminum lock nut provides mechanical load holding for extended periods;
- Hardened steel stop ring increases cylinder life and resistance to side-loads of up to 5%;
- Hard coat finish on all surfaces resists damage and extends cylinder life;
- Composite bearings increase cylinder life and side load resistance;
- Handles included on all models;
- Steel base plate and saddle for protection against load-induced damage;
- The integral stop ring prevents plunger over-travel and is capable of withstanding the full cylinder capacity;
- High-strength return spring for rapid cylinder retraction;
- 3/8NPT-18 coupler and dust cap included on all models.

#### ▼ Optional Bolt-on Tilt Saddle Dimensions(mm)

Model Number	Tilt Saddle Model	Saddle Dia/mm(J1)	Saddle Protr. From Plgr./mm(K1)
RACL-50	CATG-50	50	24
RACL-100	CATG-100	91	31
RACL-150	CATG-150	118	35

Tilt Saddle Not Available For Less Than 50 Ton.

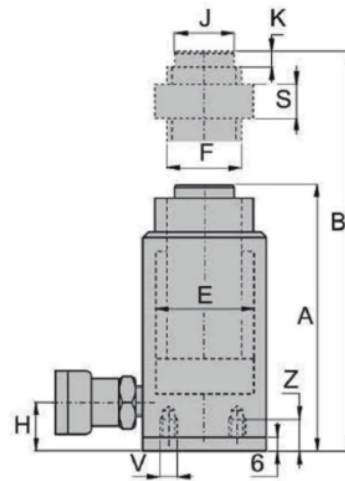
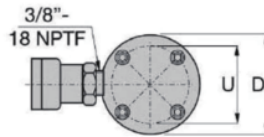
# RACL-Series, Single Acting Aluminum Lock Nut Hydraulic Cylinders

## Product Details

### ▼ Steel Base Plate Mounting Holes

Model Number	Base Mounting Holes Bolt Circle/mm(U)	Base Mounting Holes Thread(V)	Base Mounting Holes Thread Depth/mm(Z)
RACL-20	70	M6	12
RACL-30	80	M6	12
RACL-50	110	M6	12
RACL-100	150	M10	12
RACL-150	200	M10	12

1) Including Base Plate Height of 6 mm and four (4) base plate bolts M6.



Model Number	Capacity/Ton	Stroke/mm	Cylinder Effective Area/cm <sup>2</sup>	Oil Capacity/c m <sup>3</sup>	Collapsed Height/mm(A)	Extended Height/mm(B)	Outside Dia/mm(D)	Cylinder Bore Dia/mm(E)	Plunger Dia/mm(F)	Base To Advance Port/mm(H)	Saddle Dia/mm(J)	Saddle Protri. From Flgr./mm(K)	Lock Nut Height S(mm)	Weight/Kg
RACL-202	20	50	31,2	156	224	274	85	63	Tr 55 x 4	27	40	3	50	4
RACL-204	20	100	31,2	312	274	374	85	63	Tr 55 x 4	27	40	3	50	4,6
RACL-206	20	150	31,2	468	324	474	85	63	Tr 55 x 4	27	40	3	50	5,2
RACL-208	20	200	31,2	624	374	574	85	63	Tr 55 x 4	27	40	3	50	5,8
RACL-2010	20	250	31,2	780	424	674	85	63	Tr 55 x 4	27	40	3	50	6,4
RACL-302	30	50	44,2	221	231	281	100	75	Tr 60 x 4	33	40	3	50	5,4
RACL-304	30	100	44,2	442	281	381	100	75	Tr 60 x 4	33	40	3	50	6,1
RACL-306	30	150	44,2	663	331	481	100	75	Tr 60 x 4	33	40	3	50	6,8
RACL-308	30	200	44,2	883	381	581	100	75	Tr 60 x 4	33	40	3	50	7,5
RACL-3010	30	250	44,2	1105	431	681	100	75	Tr 60 x 4	33	40	3	50	8,2
RACL-502	50	50	70,9	354	236	286	130	95	Tr 80 x 4	30	50	3	50	9,3
RACL-504	50	100	70,9	709	286	386	130	95	Tr 80 x 4	30	50	3	50	10,6
RACL-506	50	150	70,9	1063	336	486	130	95	Tr 80 x 4	30	50	3	50	11,9
RACL-508	50	200	70,9	1417	386	586	130	95	Tr 80 x 4	30	50	3	50	13,2
RACL-5010	50	250	70,9	1771	436	686	130	95	Tr 80 x 4	30	50	3	50	14,5
RACL-1002	100	50	143,1	716	296	346	180	135	Tr 110 x 6	46	94	3	75	21,9
RACL-1004	100	100	143,1	1431	346	446	180	135	Tr 110 x 6	46	94	3	75	24,2
RACL-1006	100	150	143,1	2147	396	546	180	135	Tr 110 x 6	46	94	3	75	26,5
RACL-1008	100	200	143,1	2863	446	646	180	135	Tr 110 x 6	46	94	3	75	28,8
RACL-10010	100	250	143,1	3578	496	746	180	135	Tr 110 x 6	46	94	3	75	31,1
RACL-1502	150	50	227	1135	323	373	230	170	Tr 140 x 6	51	113	3	80	32,2
RACL-1504	150	100	227	2270	373	473	230	170	Tr 140 x 6	51	113	3	80	36,2
RACL-1506	150	150	227	3405	423	573	230	170	Tr 140 x 6	51	113	3	80	40,2
RACL-1508	150	200	227	4540	473	673	230	170	Tr 140 x 6	51	113	3	80	44,2
RACL-15010	150	250	227	5675	523	773	230	170	Tr 140 x 6	51	113	3	80	48,2

RIVERLAKE 46

## Anexo 5 – Ficha técnica de interruptor Siemens 3x320A

# SIEMENS

### Hoja de datos

**3VM1332-4EE32-0AA0**



Interruptor automático 3VM1 IEC Frame 400 Clase de poder de corte N Icu=36 kA @ 415V 3 polos, protección de distribuciones TM220, ATFM, In=320 A protección de sobrecarga Ir=224A...320A protección de cortocircuito li=10 x In conexión plana con tornillos

La versión	
nombre comercial del producto	SETRON
designación del producto	Interruptor automático de caja moldeada
tipo de producto	Protección de distribuciones
tipo del disparador de sobreintensidad	TM220
función de protección del disparador de sobreintensidad	LI
número de polos	3
Datos técnicos generales	
tensión de aislamiento / valor asignado	800 V
tensión de empleo / con AC / con 50/60 Hz / valor asignado	500 V
tensión de empleo / con DC / valor asignado	500 V
tensión de empleo / con AC / valor asignado	690 V
pérdidas [W] / máx.	80 W
pérdidas [W] / con valor asignado de la intensidad / con AC / en estado operativo caliente / por polo	26,7 W
vida útil mecánica (ciclos de maniobra) / típico	15 000
durabilidad eléctrica (ciclos de maniobra) / con AC-1 / con 380/415 V	6 000
propiedad del producto / para neutro / ampliable/reequipable / protección de cortocircuito y sobrecarga	No
tipo de la vigilancia de defectos a tierra	Sin
función del producto	
• función de comunicación	No
• otras funciones de medición	No
Peso neto por UC	4.825 kg
Electricidad	
intensidad de empleo	
• con 40 °C	320 A
• con 45 °C	320 A
• con 50 °C	320 A
• con 55 °C	313 A
• con 60 °C	306 A
• con 65 °C	299 A
• con 70 °C	292 A
Capacidad de conmutación IEC 60947	
clase de poder de corte del interruptor automático	S
poder de corte corriente de cortocircuito límite (Icu)	
• con 240 V	55 kA
• con 415 V	36 kA
• con 440 V	36 kA

<ul style="list-style-type: none"> <li>● con 500 V</li> </ul>	25 kA
poder de corte corriente de cortocircuito de servicio (Ics)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● con 240 V</li> <li>● con 415 V</li> <li>● con 440 V</li> <li>● con 500 V</li> </ul>	41 kA 27 kA 27 kA 18 kA
poder de cierre corriente de cortocircuito (Icm)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● con 240 V</li> <li>● con 415 V</li> <li>● con 440 V</li> <li>● con 500 V</li> </ul>	121 kA 76 kA 76 kA 53 kA
tipo de protección contra cortocircuito	consulte los valores de potencia de conmutación en redes de suministro eléctrico DC en el manual de producto de interruptores automáticos de caja moldeada 3VA; encontrará el enlace en Service & Support en el último capítulo
<b>Parámetros ajustables</b>	
valor de respuesta ajustable para corriente / del disparador instantáneo de cortocircuito	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● máx.</li> </ul>	3 200 A
función del producto / protección de defecto a tierra	No
<b>Diseño Mecánico</b>	
componente del producto	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● disparador de mínima tensión</li> <li>● disparador de tensión</li> <li>● señalizador de disparo</li> </ul>	No No No
altura [pulgadas]	9,76 in
altura	248 mm
anchura [pulgadas]	5,43 in
anchura	138 mm
profundidad [pulgadas]	4,33 in
profundidad	110 mm
<b>Conexiones</b>	
disposición de la conexión eléctrica / para circuito principal	Conexión frontal
tipo de conexión eléctrica / para circuito principal	conexión plana por tornillo en ambos lados
tipo de secciones de conductor conectables / para conexión de barra plana / mín.	20 × 1 mm
tipo de secciones de conductor conectables / para conexión de barra plana / máx.	35 × 10 mm
tipo de superficie / de las conexiones / en la parte superior del interruptor (N, 1, 3, 5)	Plata
tipo de superficie / de las conexiones / en la parte inferior del interruptor (N, 2, 4, 6)	Plata
<b>Circuito auxiliar</b>	
número de contactos conmutados / para contactos auxiliares	0
<b>Accesorios</b>	
ampliación del producto / opcional / accionamiento del motor	No
<b>Condiciones ambientales</b>	
grado de protección IP / frontal	IP40
temperatura ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● durante el funcionamiento / mín.</li> <li>● durante el funcionamiento / máx.</li> <li>● durante el almacenamiento / mín.</li> <li>● durante el almacenamiento / máx.</li> </ul>	-25 °C 70 °C -40 °C 80 °C
<b>Certificados</b>	
designaciones de referencia / según IEC 81346-2:2009	Q
<b>General Product Approval</b>	<b>Declaration of Conformity</b>

[Confirmation](#)



[Miscellaneous](#)



Declaration of Conformity	Test Certificates	Marine / Shipping			other
	<a href="#">Type Test Certificates/Test Report</a>				<a href="#">Confirmation</a>
other	Environment				
<a href="#">Miscellaneous</a>	<a href="#">Environmental Confirmations</a>				

#### Más información

Información sobre el embalaje

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/es/view/109813875>

Information- and Downloadcenter (Catálogos, Folletos,...)

<http://www.siemens.com/lowvoltage/catalogs>

Industry Mall (sistema de pedido online)

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/product?mlfb=3VM1332-4EE32-0AA0>

Service&Support (Manuales, certificados, características, FAQ,...)

<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/es/ps/3VM1332-4EE32-0AA0>

Base de datos de imágenes (fotos de producto, dibujos acotados 2D, modelos 3D, esquemas de conexiones, ...)

[http://www.automation.siemens.com/bilddb/cax\\_en.aspx?mlfb=3VM1332-4EE32-0AA0](http://www.automation.siemens.com/bilddb/cax_en.aspx?mlfb=3VM1332-4EE32-0AA0)

CAX-Online-Generator

<http://www.siemens.com/cax>

Tender specifications

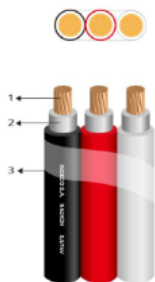
<http://www.siemens.com/specifications>



## Anexo 6 – Ficha técnica de cable INDECO N2XOH triplex 240 mm<sup>2</sup>



### N2XOH 0,6/1 kV Doble o Triple; METRIUM N2XOH 0,6/1 kV 3-1x240 mm<sup>2</sup>



Ref. Nexans: P00040841-0  
Ref. de País: 10055970

#### CONTACTO

Venta Local  
ventas.peru@nexans.com

Cable de cobre aislado con polietileno reticulado (XLPE) y con cubierta termoplástica libre de halógenos, cuya temperatura de operación es 90°C. Posee la marcación especial METRIUM.

#### APLICACIÓN

En redes eléctricas de distribución de baja tensión. Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados, aplicación directa en lugares de alta afluencia de público. Se puede instalar en ductos, escalerillas eléctricas o bandejas portacables, y en lugares secos.

#### NORMAS

##### PRODUCTO

NTP-IEC 60228; NTP-IEC 60502-1; IEC 60228; IEC 60502-1

##### ENSAYOS

IEC 60332-1-2; IEC 60332-3-24; IEC 60754-1; IEC 60754-2; IEC 61034-2; UL 2556

#### CONSTRUCCIÓN

1. Conductor: Cobre blando, clase 2.
2. Aislamiento: Polietileno reticulado XLPE.
3. Cubierta externa: Compuesto termoplástico libre de halógenos HFFR.
4. Cinta: Poliéster.

#### PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

El cable tiene excelentes propiedades eléctricas. El aislamiento de polietileno reticulado permite mayor capacidad de corriente en cualquier condición de operación, mínimas pérdidas dieléctricas, alta resistencia de aislamiento. La cubierta exterior tiene las siguientes características: No propaga el incendio, baja emisión de humos densos y contenido de halógenos.

#### SECCIÓN

Desde 6 mm<sup>2</sup> hasta 500 mm<sup>2</sup>.

#### MARCACIÓN

INDECO BY NEXANS N2XOH 0,6/1 kV - Sección - 90C - Año - (- metrado secuencial m. || metrado secuencial m. +).

#### EMBALAJE

En carretes de madera no retornables.



Libre de halógenos  
Bajo contenido  
Halógeno IEC  
60754-1



Flexibilidad del  
conductor  
Clase 2 IEC 60228



Tensión nominal de  
servicio Uo/U (Um)  
0.6/ 1 (1.2) kV



Resistencia a  
aceites  
ICEA S-95-658



Toxicidad de los  
gases  
Cero Toxicidad  
IEC 60684-2



Corrosividad de los  
gases  
Baja Corrosividad  
IEC 60754-2



Densidad de los  
humos  
Baja Emisión de  
Humos - IEC  
61034-2



No propagación de  
la llama  
IEC 60332-1-2; FT1

Versión 2.7  
Generado 9/07/25  
www.nexans.pe  
Página 1 / 3

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.

### COLOR

Aislamiento: Natural.

Cubierta externa: Ver identificación en lista de productos.

### NORMAS DE PRODUCTO

**NTP-IEC 60228:**Conductores para cables aislados.

**NTP-IEC 60502-1:**Cables de energía con aislamiento extruido y sus aplicaciones para tensiones nominales desde 1 kV y 3 kV.

**IEC 60228:**Conductores para cables aislados.

**IEC 60502-1:**Cables de energía con aislamiento extruido y sus aplicaciones para tensiones nominales desde 1 kV y 3 kV.

### NORMAS DE ENSAYO

**IEC 60332-1-2:**Ensayo de propagación de llama vertical para un alambre o cable simple - Procedimiento para llama premezclada de 1kW.

**IEC 60332-3-24:**Ensayo para llama vertical extendida de alambres agrupados o cables montados verticalmente - Categoría C.

**IEC 60754-1:**Ensayo de los gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. **Parte 1:** Determinación del contenido de gases halógenos ácidos.

**IEC 60754-2:**Ensayo de los gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables. **Parte 2:** Determinación de la acidez (por medida del pH) y la conductividad.

**IEC 61034-2:**Medida de la densidad de los humos emitidos por cables en combustión bajo condiciones definidas.

**UL 2556:** Métodos de ensayo para alambre y cable. **Sección 9.3:** Ensayo de propagación de llama - FT-1 (muestra vertical).

### CARACTERÍSTICAS

Características de construcción	
Material del conductor	Cobre Temple Blando
Material de aislamiento	XLPE
Cubierta Externa Individual	Compuesto Termoplástico Libre de Halógenos
Libre de halógenos	Bajo contenido Halógeno IEC 60754-1
Aislamiento	XLPE
Color de cubierta	Cubierta Individual Rojo-Negro-Azul
Con conductor amarillo/verde	No
Flexibilidad del conductor	Clase 2 IEC 60228
Forma del conductor	Cableado Compactado
Características dimensionales	
Número de fases	3
Sección del conductor	240 mm <sup>2</sup>
Diámetro del conductor	18.0 mm
Número total de alambres	37
Mínimo espesor de aislamiento	1.7 mm

Características dimensionales	
Mínimo espesor de cubierta	1.2 mm
Alto	24.3 mm
Ancho	72.5 mm
Peso aproximado	7012 kg/km
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio U <sub>0</sub> /U (Um)	0.6/ 1 (1.2) kV
Rigidez dieléctrica	3.5 kV
Resistencia máxima del conductor en CC a 20° C	0.0754 Ohm/km
Tiempo Rigidez Dielectrica Vca al aislamiento	5 min.
Capacidad de corriente en aire a 30°C - formación plana	634 A
Capacidad de corriente en aire a 30°C - formación triangular	607 A
Capacidad de corriente en ducto enterrado 20°C	324 A
Capacidad de corriente enterrado a 20°C	375 A
Capacitancia Nominal	762.0 pF/m
Características de uso	
Resistencia a aceites	ICEA S-95-658
Toxicidad de los gases	Cero Toxicidad IEC 60684-2
Corrosividad de los gases	Baja Corrosividad IEC 60754-2
Densidad de los humos	Baja Emisión de Humos - IEC 61034-2
No propagación de la llama	IEC 60332-1-2; FT1
No propagador del incendio	IEC 60332-3-24 Cat.C
Marcación secuencial	Doble marcación del metraje secuencial METRIUM
Resistencia a Radiación Ultravioleta	UL 2556 - Resistencia a los rayos solares
Temperatura máxima operación	90 °C
Temperatura de sobrecarga de emergencia	130 °C
Temperatura máxima del conductor en corto-circuito	250 °C
Midspan	No

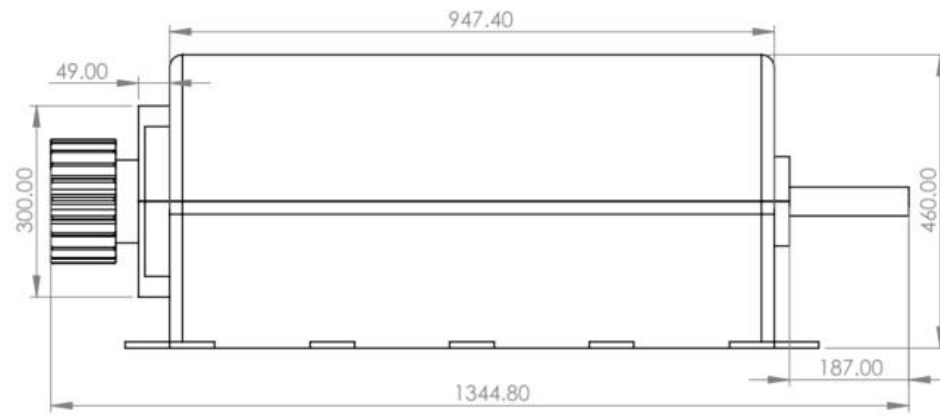
### CONDICIONES DE CÁLCULO DE CORRIENTE: CONDUCTOR DE COBRE DOBLE O TRIPLE L.V.; 90°C

VALORES DE CAPACIDAD DE CORRIENTE Y CONDICIONES DE CALCULO DE CORRIENTE BASADOS EN IEC 60364-5-52:2009 :

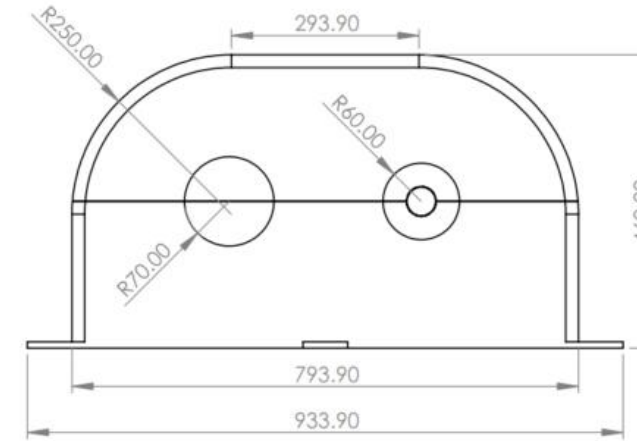
TABLA B.52.5 (METODO D1: Ductos enterrado en formación triangular).  
 TABLA B.52.5 (METODO D2: Enterrado en formación triangular).  
 TABLA B.52.12 (METODO F: Al aire en formación plana y en contacto).  
 TABLA B.52.12 (METODO F: Al aire en formación triangular).

Temperatura máxima del conductor : 90°C.  
 Temperatura ambiente : 30°C.  
 Temperatura del terreno : 20°C.  
 Profundidad de tendido hasta : 0,7 m.  
 Resistividad térmica del terreno : 2,5 K.m/W.

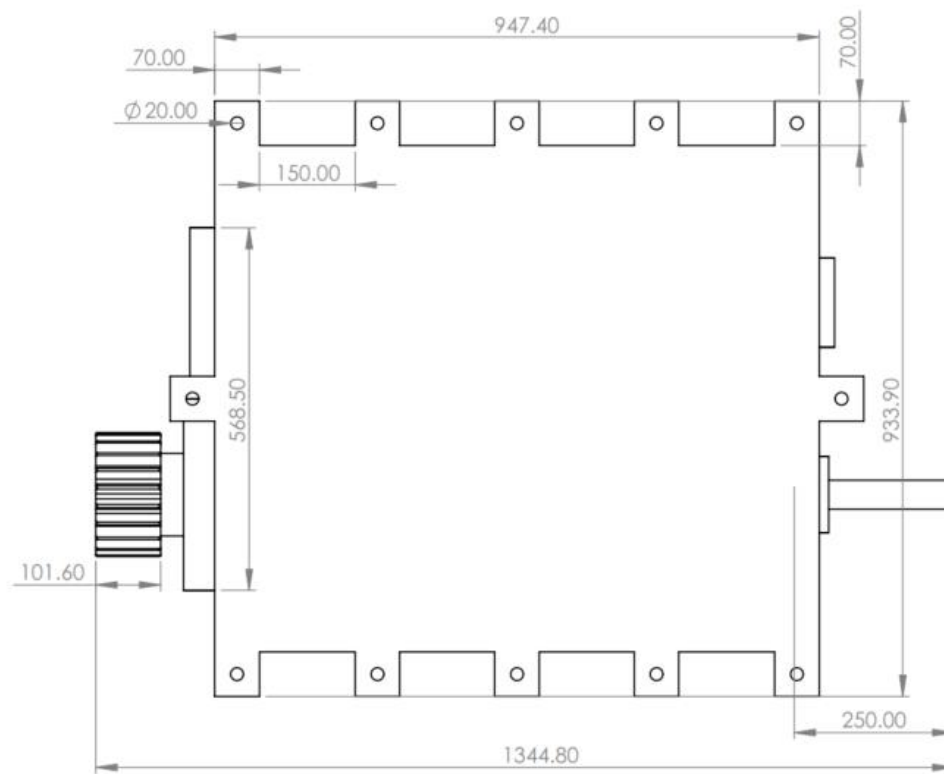
**Anexo 7 – Planos de los elementos y ensamblaje de la máquina roladora  
computarizada**



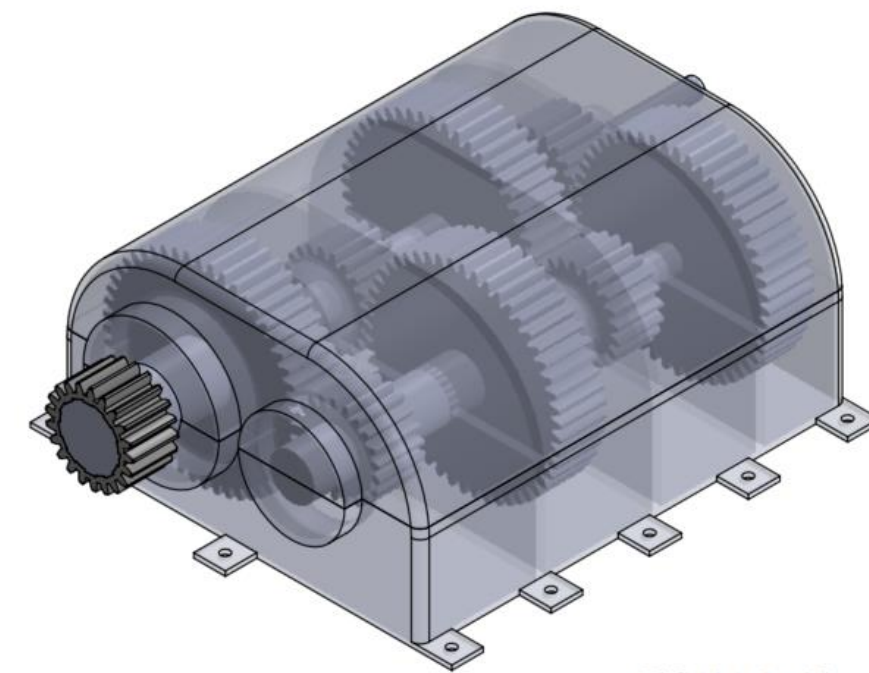
ESCALA 1 : 10



ESCALA 1 : 10



ESCALA 1 : 10



ESCALA 1 : 10



DISEÑO DE UNA MAQUINA ROLADORA COMPUTARIZADA DE PLANCHA HASTA 25 mm DE ESPESOR PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA FABRICACIÓN & MONTAJE ESTRUCTURAL A&E S.R.L

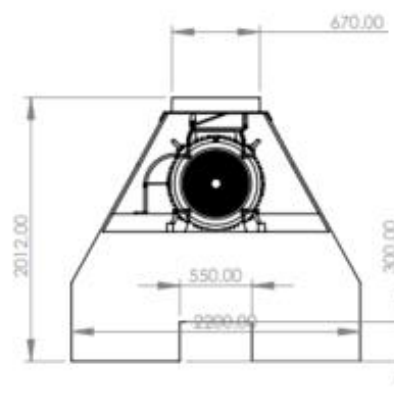
13/11/2025

ENSAMBLAJE DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN MAQUINA ROLADORA

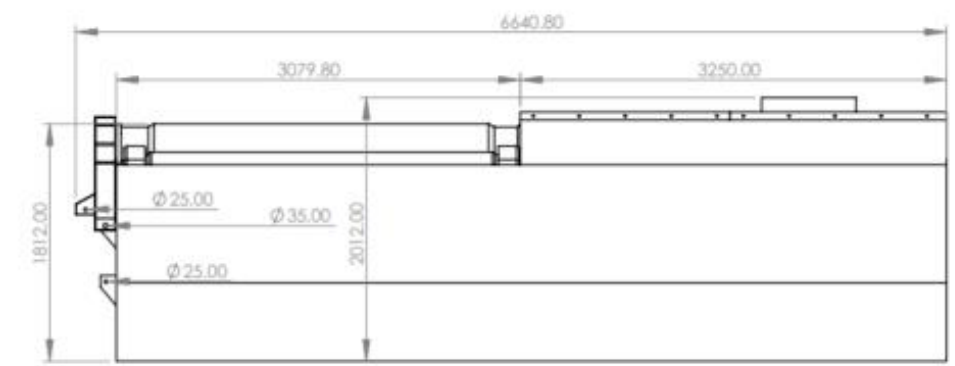
Escala:  
INDICADA

Dibujado por:  
Jhann Antoni Saldaña Fernández

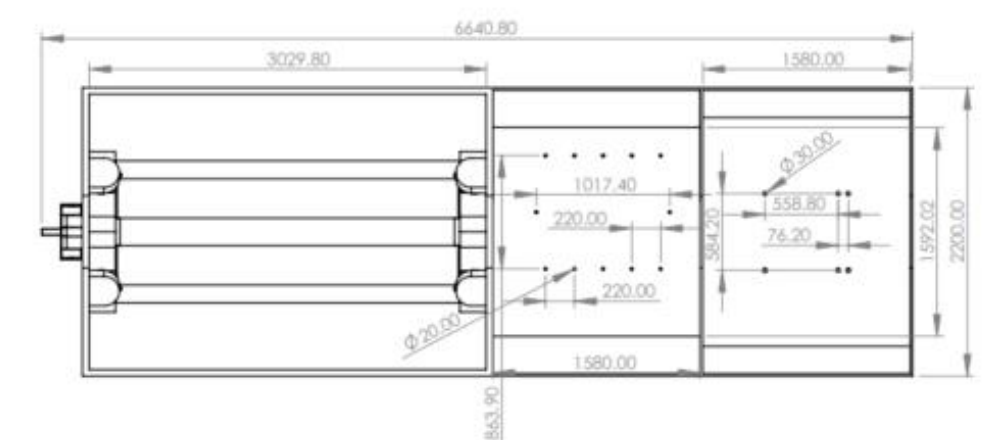
Asesor:  
Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera



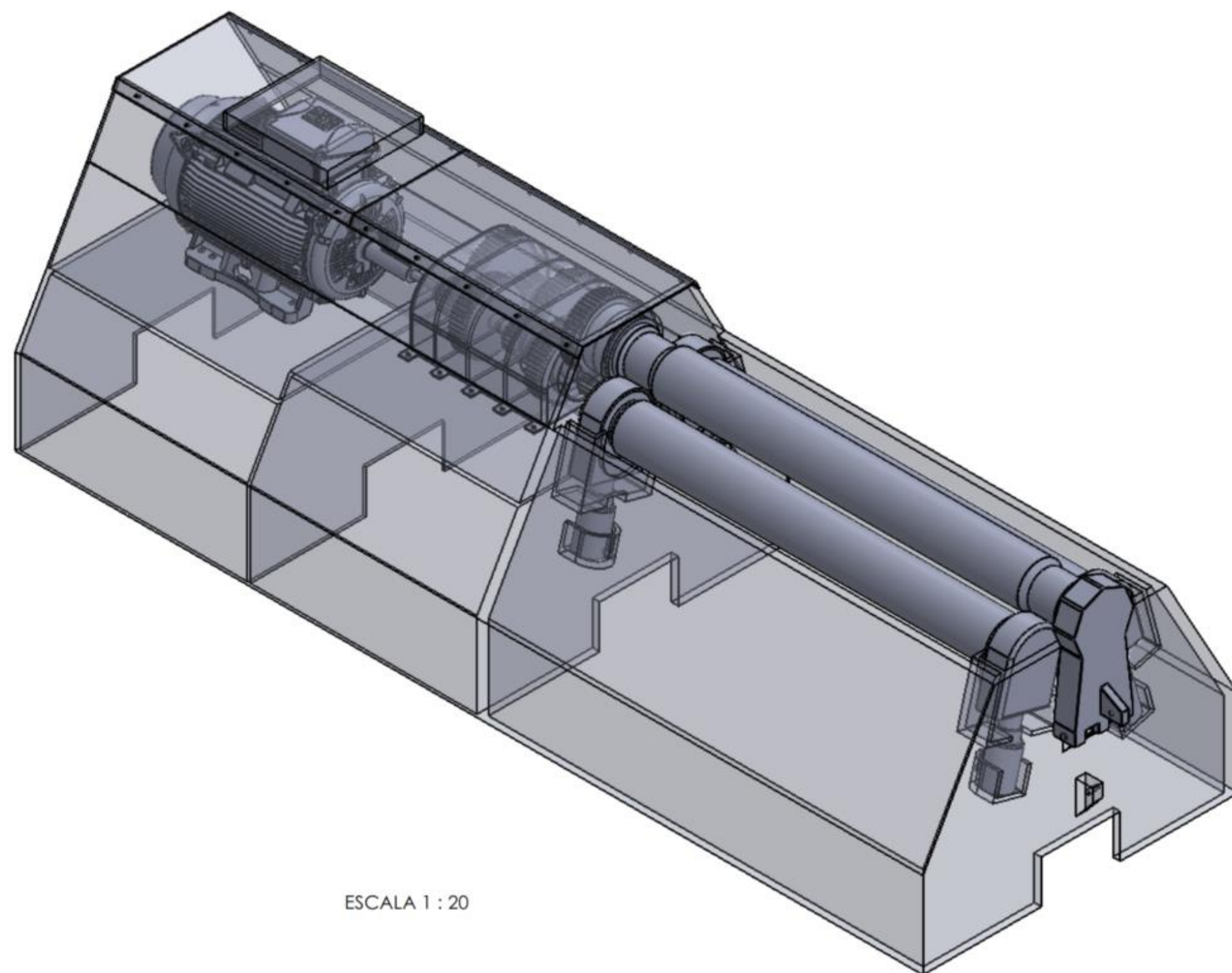
Escala 1 : 50




Escala 1 : 50



Escala 1 : 50



ESCALA 1 : 20

	DISEÑO DE UNA MAQUINA ROLADORA COMPUTARIZADA DE PLANCHA HASTA 25 mm DE ESPESOR PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA FABRICACIÓN & MONTAJE ESTRUCTURAL A&E S.R.L	
	ENSAMBLAJE DE COMPONENTES PARA MÁQUINA ROLADORA	
13/11/2025	Escala: INDICADA	Dibujado por: Jhann Antoni Saldaña Fernández
		Asesor: Msc. Ing. Jony Villalobos Cabrera