



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Dimensionamiento de máquina roladora de 3/8" para mejorar los tiempos de producción en una empresa metalmecánica en Chiclayo

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTORES:

Nepo Chero, Raul Lizandro (orcid.org/0000-0002-7946-7660)
Ochoa Chapa, Cristhian Omar (orcid.org/0000-0002-8264-0284)

ASESOR:

Dr. Davila Hurtado, Fredy (orcid.org/0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO – PERÚ

2024



Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, DAVILA HURTADO FREDY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Dimensionamiento de máquina roladora de 3/8" para mejorar los tiempos de producción en una empresa metalmecánica en Chiclayo", cuyos autores son OCHOA CHAPA CRISTHIAN OMAR, NEPO CHERO RAUL LIZANDRO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 22 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
DAVILA HURTADO FREDY DNI: 16670066 ORCID: 0000-0001-8604-8811	Firmado electrónicamente por: FRDAVILAH el 14-08- 2024 21:45:28

Código documento Trilce: TRI - 0828572



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, NEPO CHERO RAUL LIZANDRO, OCHOA CHAPA CRISTHIAN OMAR estudiantes de la de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Dimensionamiento de máquina roladora de 3/8" para mejorar los tiempos de producción en una empresa metalmecánica en Chiclayo", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
OCHOA CHAPA CRISTHIAN OMAR DNI: 76352227 ORCID: 0000-0002-8264-0284	Firmado electrónicamente por: COCHOACH2599 el 18-08-2024 14:01:44
NEPO CHERO RAUL LIZANDRO DNI: 75524692 ORCID: 0000-0002-7946-7660	Firmado electrónicamente por: RLNEPOCH el 18-08-2024 14:13:15

Código documento Trilce: INV - 1728002

Dedicatoria

La presente tesis va dedicado a mi madre, ya que es una parte esencial en mi vida y a pesar de los diferentes obstáculos que pasé, siempre me brindó su apoyo incondicional.

Ochoa Chapa Cristhian Omar

La presente va dedicada con mucho cariño y amor a mis padres, mi familia y en especial a mi hijo que es lo más preciado que tengo; es mi gran motivación para salir adelante día a día, por el amor que me brindaron siempre lo cual ha sido muy importante en mí.

Nepo Chero Raul Lizandro

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme y cuidarme, a mi madre y hermanos que siempre estuvieron alentándome en cumplir mi objetivo.

Agradecer al Dr. Davila Hurtado, Fredy quien nos asesoró desde un primer momento y contribuyó en el desarrollo de nuestra tesis.

Ochoa Chapa Cristhian Omar

Agradezco a Dios por la vida, por sus bendiciones y su guía por haber llegado hasta aquí; agradezco a mi familia y mis padres por la motivación y sus consejos.

También agradecer al Dr. Davila Hurtado, Fredy por brindar el acompañamiento y asesoramiento en nuestra tesis.

Nepo Chero Raul Lizandro

Índice de contenidos

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	ii
Declaratoria de originalidad del autor(es)	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras	viii
Resumen	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	12
III. RESULTADOS	15
IV. DISCUSIÓN.....	69
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS.....	75
ANEXOS	82

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de tiempos y costos del proceso productivo.....	17
Tabla 2. Resumen de tiempos y costos de la etapa de rolado.	18
Tabla 3. Dimensiones estándar de las planchas metálicas empleadas.	20
Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero ASTM A 1011/A 1011M CS.	21
Tabla 5. Recomendaciones para factor de sobrecarga.	28
Tabla 6. Cantidad de dientes y velocidades en cada etapa.	30
Tabla 7. Factor para seleccionar el coeficiente elástico.	32
Tabla 8. Números de calidad AGMA recomendados.	33
Tabla 9. Factor de tamaño sugerido.....	37
Tabla 10. Factor de confiabilidad.	38
Tabla 11. Presupuesto estimado para la fabricación de la máquina roladora.	67
Tabla 12. Flujo de caja del análisis económico para la máquina roladora.	68

Índice de figuras

Figura 1. Principio de funcionamiento de la máquina roladora con 3 rodillos.....	8
Figura 2. Fuerza distribuida en rodillo superior con sus diagramas de fuerza cortante y momento flector.....	23
Figura 3. <i>Rodamiento SKF T4DB 180</i>	27
Figura 4. Gráfica para seleccionar el paso diametral.	29
Figura 5. Curvas para determinar el factor dinámico.....	34
Figura 6. Factor de geometría.	35
Figura 7. Factor de geometría para piñones rectos externos.	35
Figura 8. Factor de proporción.	36
Figura 9. Factor de alineamiento del engranado.	36
Figura 10. Factor de espesor de borde.	37
Figura 11. Factor de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo.	40
Figura 12. Factor de resistencia a la picadura por ciclos de esfuerzo.....	41
Figura 13. Esfuerzo de contacto admisible (Número Brinell).....	43
Figura 14. Características del material acero AISI 4140.	43
Figura 15. Tensiones de Von Mises obtenidos en el eje del rodillo de la roladora.	45
Figura 16. Desplazamientos generados en el eje del rodillo de la roladora.	46
Figura 17. Factores de seguridad obtenidos en el eje del rodillo de la roladora...	47
Figura 18. Reacciones generadas en los apoyos del eje del rodillo de la roladora.	48
Figura 19. Tensiones de Von Mises generadas en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.....	50
Figura 20. Deformaciones generadas en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.	51

Figura 21. Factores de seguridad obtenidos en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.....	52
Figura 22. Tensiones de Von Mises que se generaron en la pieza móvil para rodillo.	54
Figura 23. Desplazamientos que se generaron en la pieza móvil para rodillo.	55
Figura 24. Factores de seguridad que se generaron en la pieza móvil para rodillo.	56
Figura 25. Fuerzas resultantes en los apoyos de la pieza móvil para rodillo.	57
Figura 26. Tensiones de Von Mises que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.	59
Figura 27. Deformaciones que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.	60
Figura 28. Factores de seguridad que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.	61
Figura 29. Ensamblaje de la caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos.	63
Figura 30. Vistas respectivas del ensamblaje de la máquina roladora.....	64
Figura 31. Ensamblaje de los componentes para la máquina roladora.....	65

Resumen

El informe de tesis tuvo como objetivo dimensionar una máquina roladora de 2.4m de largo por 3/8" de espesor para una empresa metalmecánica en la ciudad de Chiclayo. La investigación fue aplicada, enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Al analizar el proceso productivo, se obtuvo que el tiempo del proceso de rolado tiene una duración 26 horas realizado por terceros con un costo de S/.1950.00 por trabajo. Los parámetros de diseño fueron el espesor máximo de 9 mm, voltaje 380V trifásico, largo de plancha de 6m, ancho de 2.4m, esfuerzo de fluencia de 272.50MPa para la plancha, velocidad de rotación de los rodillos de 20 rpm. Los elementos de máquina que conforman la roladora son un rodillo superior, dos rodillos inferiores con diferente configuración de acuerdo con planos, motor trifásico de 30 kW, sistema de transmisión con engranajes de dientes rectos con 3 etapas de reducción y una estructura de soporte que pueda albergar todos los elementos. Con SolidWorks se obtuvieron factores de seguridad por encima de 2 para todos los elementos de máquina críticos. El presupuesto de la máquina roladora fue de S/.39538.81, con un VAN de S/.153744.28, TIR de 58.21% y Payback de 1.88 años.

Palabras clave: Máquina roladora, factor de seguridad, diseño mecánico.

Abstract

The thesis report aimed to size a 2.4m long by 3/8" thick rolling machine for a metalworking company in the city of Chiclayo. The research was applied, quantitative approach and non-experimental design. When analyzing the production process, it was found that the rolling process time lasts 26 hours and is carried out by third parties at a cost of S/.1950.00 per job. The design parameters were the maximum thickness of 9 mm, 380V three-phase voltage, 6m plate length, 2.4m width, yield strength of 272.50MPa for the plate, 20 rpm roller rotation speed. The machine elements that make up the rolling machine are an upper roller, two lower rollers with different configurations according to the plans, a 30 kW three-phase motor, a transmission system with straight-tooth gears with 3 reduction stages and a support structure that can house all the elements. With SolidWorks, safety factors above 2 were obtained for all critical machine elements. The budget for the rolling machine was S/.39538.81, with a NPV of S/.153744.28, IRR of 58.21% and Payback of 1.88 years.

Keywords: Rolling machine, safety factor, mechanical design.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda y competitividad en el sector manufacturero han tenido influencia en las empresas para que adopten distintas herramientas para la optimización de sus procesos y control de inventarios (Caballero et al., 2019). Debido a esa competitividad, la gestión en los proyectos juega un importante papel en la mejora para el desempeño, para gestionar de forma eficiente y efectiva los recursos. Muchos de los problemas en las empresas metalmecánicas se dan en la gestión documental, comunicación, proyectos en simultáneo, estructura organizativa, además de una mala estimación en el tiempo de las actividades del proyecto (Silva et al., 2022). En las empresas metalmecánicas, los tiempos en la fabricación, tiempos de búsqueda de herramientas y espacios de trabajo libres y ordenados resultan siempre en una preocupación constante para el sector industrial (Velásquez, 2022). Y deben abordarse cuestiones sobre residuos, problemas y sus causas, con el fin de definir prioridades de intervención y generar soluciones con la capacidad de mejorar el desempeño y eficiencia del proceso (Días et al., 2019).

La tercerización o subcontratación de terceros se ha venido dando desde hace mucho tiempo, convirtiéndose en una tendencia importante y cada día más empresas tercerizan trabajos. Por ejemplo, el gigante aeronáutico Boeing también considera a la tercerización como una forma importante de su proceso de producción. Aunque, el exceso de tercerización origina muchos inconvenientes y problemas, produciendo una mala comunicación, extensos retrasos y un aumento de costos inesperados (Li & Lu, 2020). Actualmente existe un entorno altamente competitivo, caracterizado por márgenes de beneficio, expectativas altas de los clientes sobre productos de calidad y tiempos cortos de espera, las empresas buscan aprovechar cada oportunidad para optimizar sus procesos productivos (Rezaei et al., 2022; Alilou et al., 2021).

La empresa metalmecánica está ubicada en el distrito de Cayaltí, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, se dedica a la fabricación y montaje de estructuras metálicas, realizando trabajos como diseño e ingeniería, maquinado de piezas, soldadura y ensamblaje, fabricación de componentes para la industria y trabajos de acabado, ofertando sus servicios tanto a nivel regional como en el

territorio nacional, contando con un total de 30 trabajadores totalmente capacitados para brindar cualquier servicio que se solicite, y debido a que se encuentra en pleno crecimiento, y con ello un aumento en las obligaciones y responsabilidades, por lo que le solicitan trabajos en distintas partes del Perú, donde en la mayoría de trabajos solicitados necesitan el uso de una máquina roladora, además existe un aumento de trabajo, pero debido a que la empresa no cuenta con dicha máquina tiene que acudir al servicio de terceros, teniendo en cuenta que hay incrementos en la contratación de la máquina roladora por terceros y esto trae como consecuencia un tiempo estimado más extenso de producción de la estructura o los trabajos solicitados, con una reducción en las ganancias. Por ello, el área de gerencia busca dar solución a dicha problemática, siendo entre ellas el diseño de una máquina roladora para poder reducir los tiempos en los trabajos solicitados y ser más eficientes, además de evitar los sobrecostos, adicionalmente que en muchas ocasiones el trabajo de rolado realizado por terceros estuvo mal hecho. La investigación contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 9 “Industria, Innovación e Infraestructura”, ya que al optimizar los procesos de producción y mejorar la eficiencia en una empresa metalmeccánica, se promueve el desarrollo de infraestructuras resilientes, la industrialización inclusiva y sostenible, así como la innovación en el sector industrial, lo que a su vez impulsa el progreso hacia la sostenibilidad y el crecimiento económico, porque contribuye a la meta 9.3, de mejorar la disponibilidad de servicios financieros para pequeñas industrias y empresas, especialmente en naciones en desarrollo, facilitando el acceso a créditos asequibles y su participación en las cadenas de suministro y los mercados.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, surgió el problema de investigación: ¿Cómo mejorar los tiempos de producción en una empresa metalmeccánica mediante el dimensionamiento de una máquina roladora de 3/8”?

La investigación se justifica porque con una máquina roladora de 3/8” se puede optimizar los tiempos de rolado e indirectamente los tiempos de producción, mejorando los costos asociados al proceso productivo, logrando cumplir con lo solicitado por los clientes y así poder cumplir con sus obligaciones frente a sus clientes cuando sea necesario.

El objetivo general fue: dimensionar una máquina roladora de 2.4 m de largo por 3/8" de espesor para una empresa Metalmecánica en la ciudad de Chiclayo. Y se plantearon como objetivos específicos:

- Describir el proceso productivo actual de la empresa mostrando los tiempos de ejecución de trabajo.
- Determinar los parámetros de diseño que permitan definir la capacidad de la máquina roladora, según las necesidades de la empresa metalmecánica (espesor, largo, velocidad, material).
- Determinar los elementos de máquina que conforman la máquina roladora empleando los parámetros de diseño.
- Realizar una simulación empleando software de diseño mecánico, así como elaborar los planos y láminas correspondientes.
- Realizar una evaluación económica empleando los indicadores VAN y TIR.

Tomando en cuenta la realidad problemática y los objetivos que se han planteado en la presente investigación, se procedió a seleccionar los antecedentes, que fueron considerados para desarrollar el presente estudio.

En el ámbito internacional, en la ciudad de Liaocheng ubicada en la República Popular de China, en la investigación elaborada por Yigang et al. (2023) donde plantearon el objetivo de diseñar y desarrollar una máquina dobladora de rodillos CNC de 4 rodillos de alta precisión y un modelo de control automático. La muestra empleada fueron los perfiles a doblar. Se ha innovado el uso de la viabilidad de utilizar cilindros servos eléctricos en máquinas dobladoras CNC de 4 rodillos para doblar perfiles, dando como resultado una mejor precisión de control y tiempo de respuesta más rápido, brindando una solución de diseño integral. Dicho enfoque ofreció un alto grado de universalidad, siendo adecuada para ser usada en una amplia gama de aplicaciones. Adicionalmente, mientras se aumentaba la cantidad de pruebas, la precisión del formado tenía una mejora significativa de manera progresiva.

En Taiwán – China, en el artículo realizado por Yung et al. (2022) donde plantearon el objetivo de evaluar el proceso de laminación continua de microestructuras de rodillo a placa tipo oruga. El estudio se centró en un proceso de laminación continua de microestructura de rodillo a placa (R2P) tipo oruga, proponiendo una tecnología donde se integró el sistema de la máquina para el moldeo por extrusión, rodillo y oruga de grafeno, sistema de control magnético. La máquina se diseñó, ensambló y probó. La oruga de grafeno y el sistema de control de precisión se fabricaron para completar el proceso de laminación continua de la matriz microestructural con la extrusora. Y se analizó el proceso de laminación continua de la microestructura R2P tipo oruga empleando simulación y prueba real. Los resultados experimentales sugieren que la innovadora tecnología de proceso propuesta puede mejorar eficazmente el moldeo de la replicación de impresiones.

En Indonesia, en el estudio realizado por Heryana et al. (2021) donde plantearon el objetivo de diseñar una máquina laminadora para aplanar tuberías de cobre para un diámetro de hasta 3/8 pulgadas. La muestra empleada fueron las tuberías de hasta 3/8 pulgadas de diámetro. En dicho estudio se discutió el diseño del mecanismo de laminación y presión, seguido del análisis de la fuerza, el momento y el torque de la formación de la tubería. También se analizaron los requisitos de potencia de accionamiento del motor adecuados y torque de la formación de la tubería.

En la ciudad de Latacunga – Ecuador, Molina & Toaquiza (2023) realizaron su investigación donde plantearon como objetivo implementar una máquina roladora para tubo redondo para el laboratorio de mecanizado de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la finalidad de incrementar el equipamiento para poder realizar prácticas. La muestra empleada fueron los tubos redondos disponibles en el laboratorio de mecanizado. Los instrumentos de recolección de datos empleados fueron la guía de observación y la ficha de registro de datos. De los resultados, se diseñó una máquina empleando modelos matemáticos que permitan generar resultados satisfactorios en el área estructural como eléctrica. Con las simulaciones se verificó y validó la operación de dicha máquina permitiendo un rolado mejor detallado generando un ahorro en los costos y tiempo en la fabricación. Al momento

de operar la máquina se debe tener en consideración el diámetro y tipo de tubería, con un máximo de 1 pulgada. Para el rolado se empleó 3 matrices diseñadas y calculadas para lograr un sistema equilibrado y la fuerza necesaria para un perfecto curvado. Al final, se diseñó una máquina roladora semiautomática que permitió disminuir los tiempos y recursos para el proceso de rolado.

De igual modo, en la ciudad de Quevedo en Los Ríos, en el Ecuador, Menoscabal & Villacis (2021) realizaron su investigación planteando el objetivo de diseñar y construir una máquina roladora para perfiles, que permita generar el curvado necesario a los distintos perfiles solicitados por la empresa Agroindustrias Montenegro, como perfiles en T, platinas y ángulos. La muestra empleada fueron los distintos perfiles solicitados en los trabajos que requería la empresa. Los instrumentos de recolección de datos fueron la guía de observación, la ficha técnica y el registro de datos. Para el proceso de rolado la máquina empleó un mecanismo hidráulico con 3 rodillos conectados por una transmisión de engranes, lo que permitió dar el curvado deseado en los perfiles con que se requería trabajar. Para el diseño se hizo análisis de fuerzas estáticas y dinámicas, modelado de las piezas, ensamblaje de piezas, sistema de control y fuerza. La máquina logró rolar perfiles de un espesor máximo de 6 mm, con un radio de curvado mínimo de 0.30 m, ángulos de hasta $2 \times \frac{1}{4}$ ", perfiles T de hasta 30x3 y platinas de hasta 50 x 6. Finalmente, el costo de implementación fue de \$5 956.23, representando un 50% con respecto a una máquina similar en el mercado.

En la ciudad de Quito – Ecuador, en el estudio realizado por Llive & Imbaquingo (2020) donde plantearon como objetivo diseñar y construir una roladora semiautomática para elementos esbeltos estructurales para la metalmecánica San Bartolo. La muestra empleada fueron los elementos esbeltos estructurales disponibles con un espesor máximo de 3 mm y un ancho máximo de 40 mm. La roladora consta de un sistema de sujeción y montaje para los elementos estructurales, un sistema para reducir la velocidad y otro para realizar la presión. Para el diseño de la roladora se usó la metodología del diseño concurrente donde se determinaron las especificaciones técnicas en consideración con los requisitos y necesidades de la empresa. Al final, se realizó el montaje de los elementos de

máquina diseñados para realizar las pruebas de operación respectivas con distintos elementos estructurales. Dicha máquina cumplió con lo requerido por la metalmecánica.

En el ámbito nacional, en la ciudad de Trujillo, en una investigación realizada por Ramírez (2022) donde propuso el objetivo de dimensionar y seleccionar el sistema hidráulico para la máquina roladora utilizando los métodos y principios del diseño mecánico, para mejorar los servicios de curvado, disminuir los tiempos y emplear la mano de obra adecuada. El instrumento de recolección de datos empleado fue el cuestionario, dirigido al gerente general. La muestra empleada fue la roladora hidráulica de perfiles de tres rodillos. De los resultados, obtuvo que el sistema de accionamiento para el curvado fue hidráulico formado por un cilindro hidráulico, válvula direccional, válvula para control de flujo, bomba hidráulica, válvula reguladora de presión, manómetro, mangueras de presión, motor eléctrico, filtro de succión. Al realizar una evaluación económica obtuvo un VAN de S/. 26 076.34 y una TIR de 70%, demostrando que el proyecto es factible. El costo de inversión fue de S/. 8 850.56. Finalmente, del análisis estático se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.98 para la estructura soporte, de 8.8 para la estructura de accionamiento de fuerza hidráulica y de 2.6 para el eje de cilindro.

En la ciudad de Huancayo, en un estudio realizado por García (2019) donde planteó el objetivo de diseñar una máquina roladora para el distrito de Pichanaki, provincia de Chanchamayo, departamento de Junín. La muestra empleada fueron las planchas metálicas comerciales de 1.2 m x 2.4 m con un máximo espesor de 5.9 mm, tubos con diámetro máximo de 3 pulgadas con un mínimo espesor de 1.8 mm y máximo de 2.5 mm. De los resultados, corroboró con el uso del software SolidWorks 2013, que el factor de seguridad calculado de la simulación en el rodillo superior fue de 3.49 y en el inferior de 3.57. También se comprobó la vida útil de los rodamientos, donde arrojó una vida de 16 168 horas para el del rodillo superior y de 15 413 horas el del rodillo inferior.

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).

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 presión elevada se evita que exceda la capacidad de deformación y llegue a la zona de rotura (Huari, 2020).

El tiempo de producción es la determinación del tiempo requerido para realizar y completar un proceso, tarea, actividad o suceso determinado (Andrade et al., 2019).

Hacer un estudio de tiempos y movimientos es importante, viene a considerarse un instrumento necesario para la operación eficiente de las empresas o la industria dentro de la ingeniería de métodos, y que se ha venido mejorando desde 1920 (Chasiluisa, 2019).

El estudio de tiempos se considera una técnica que permite medir el trabajo, que sirve para registrar los tiempos y ritmos de trabajo que corresponden a los procesos de una actividad determinada, que se efectúa bajo ciertas condiciones predeterminadas. Los pasos a seguir y los tiempos en que se realiza una determinada actividad permiten determinar el tiempo que es necesario para realizar dicha tarea o actividad (Cuevas et al., 2020).

Los parámetros de diseño son elementos o datos importantes que sirven para examinar, calcular y analizar un tema, cuestión o asunto específico (Rodas, 2022).

Se define a un parámetro de diseño como un dato que es considerado como importante e imprescindible además de orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación (Acosta, 2022).

Un parámetro por lo general, viene a ser cualquier característica que puede ayudar a definir o clasificar un sistema particular, esto es, un proyecto, evento, situación, objeto, etcétera. Es un elemento importante y útil o crítico para identificar el sistema o para evaluar otros aspectos como eficiencia, estado, condición, etcétera (Montenegro & Prada, 2023).

Los indicadores de rentabilidad son herramientas útiles para evaluar la salud o estado de la empresa o proyecto (Marchena, 2023).

Entre los indicadores de rentabilidad empleados para analizar un proyecto de inversión se tiene al Valor Actual Neto (VAN), Tasa interna de Retorno de la inversión (TIR) y el tiempo para recuperar la inversión o Payback (León, 2023).

Uno de los aspectos más importantes al momento de evaluar un proyecto de inversión son los indicadores de rentabilidad, porque ayudan a la toma de decisiones (Vásquez, 2021).

En la Figura 1 se observa el principio de funcionamiento de la máquina roladora con 3 rodillos, donde se puede verificar que el material ingresa entre los rodillos y a medida que los rodillos van moviéndose y rotando, se le va dando la forma deseada.

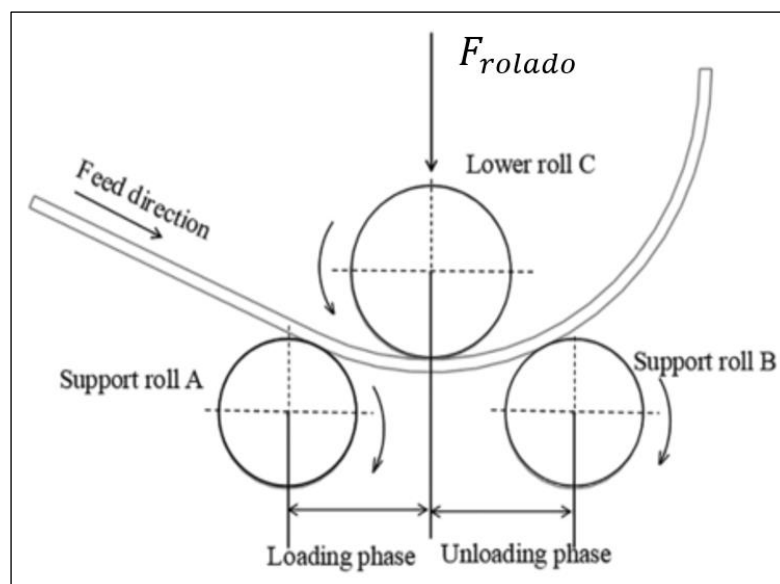


Figura 1. Principio de funcionamiento de la máquina roladora con 3 rodillos.

Fuente: (Liu et al., 2023).

De acuerdo con Juvinall y Marshek

.(2012), se emplean las siguientes fórmulas para el diseño de una máquina roladora:

Fuerza de doblado: Esta fórmula se emplea para calcular la fuerza requerida para doblar un material en una máquina roladora. Se expresa como:

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

Dónde:

F_{rolado} : representa la fuerza de doblado necesaria.

K : es una constante que depende del material y del proceso de doblado.

L : es la longitud del material a doblar.

e : es el espesor del material.

$R_{doblado}$: es el radio de doblado.

Capacidad de carga del rodillo superior: Esta fórmula determina la capacidad máxima de carga que puede soportar el rodillo superior de la máquina roladora. Se formula como:

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

Dónde:

$C_{rodillo\ sup}$: denota la capacidad de carga del rodillo superior.

$M_{m\acute{a}x}$: es el momento máximo aplicado.

$D_{rodillo\ sup}$: es el diámetro del rodillo superior.

Potencia requerida: Esta fórmula calcula la potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de rolado en la máquina. Se expresa como:

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

Dónde:

$P_{roladora}$: representa la potencia requerida.

$T_{requerido}$: es el par de torsión requerido.

V_{rolado} : es la velocidad de rolado.

Velocidad de rolado: Esta fórmula calcula la velocidad de rolado de la máquina. Se expresa como:

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

Dónde:

V_{rolado} : representa la velocidad de rolado.

$D_{rodillo}$: es el diámetro del rodillo.

$N_{rodillo}$: es la velocidad de rotación del rodillo.

De acuerdo con León (2023), las fórmulas para poder determinar el VAN, TIR y Payback en un proyecto de inversión son las mencionadas a continuación:

Valor Actual Neto (VAN): Se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

F_t : flujo efectivo neto en el año t.

r : Tasa de descuento o tasa de interés necesaria.

n : La vida útil estimada del proyecto.

La Tasa Interna de Retorno (TIR): Se calcula empleando la fórmula siguiente:

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

Payback: Tiempo de retorno de la inversión, se obtiene mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

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

Dónde:

A_n : Años antes del último año completo.

I_n : Inversión restante al final del último año completo.

F_n : Flujo de efectivo del último año completo.

II. METODOLOGÍA

Se consideró un tipo de investigación Aplicada, aquella donde se emplea todo lo aprendido, haciendo énfasis en el tema que se está investigando. Por ello, se dice que es variada, y se hizo uso de las definiciones y teorías referente al tema estudiado para poder desarrollar la presente investigación (Pisani & Micheletti, 2019). Fue de enfoque cuantitativo, porque se midieron y cuantificaron las variables de estudio, enfatizando los indicadores, para poder dar respuesta a la problemática planteada y a los objetivos específicos de la investigación (Hernández & Mendoza, 2018). Respecto al diseño de investigación, fue no experimental, porque los datos obtenidos para poder realizar la presente investigación se emplearon como se encontraron en su contexto natural, es decir, no se alteraron ni manipularon (Sánchez et al., 2018).

Respecto a la variable independiente, se define al diseño de una máquina roladora de 3/8", al 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). Con relación a la variable dependiente, el tiempo de producción es la determinación del tiempo requerido para realizar y completar un proceso, tarea, actividad o suceso determinado (Andrade et al., 2019). Mejorarlo significa, reducir el tiempo para obtener mejores beneficios. La matriz de operacionalización de variables se puede apreciar en el Anexo 1.

La población estuvo conformada por todas las planchas metálicas de hasta 3/8" de espesor empleada para el proceso de rolado de la empresa metalmeccánica. Como criterio de inclusión se consideró a todas las planchas metálicas de hasta 3/8" de espesor. Como criterio de exclusión se consideró a todas las planchas metálicas mayores a 3/8" de espesor. La muestra se conformó por una plancha metálica de hasta un espesor de 3/8". El tipo de muestreo empleado fue el no probabilístico. La unidad de análisis considerada fue la plancha metálica con un espesor de hasta

3/8".

Como técnicas de investigación, se utilizó a la observación, ya que dicha técnica se empleó para poder identificar los distintos elementos de máquina de las roladoras, que han sido tomadas como fotos o de forma digital, o recurrir ante alguna entidad que posea dicho equipo en su posesión, con la finalidad de poder observar su funcionamiento y como se compone, sus propiedades como medidas, capacidad y tipo de motor, material empleado, entre distintos aspectos necesarios para modelar la máquina roladora propuesta. También se hizo uso de la técnica revisión bibliográfica, la cual permitió buscar información sobre las propiedades de los elementos de máquinas para una máquina roladora, de cómo efectuar el diseño mecánico a partir de las características de las planchas metálicas a rolar. Se realizó una revisión exhaustiva en diferentes artículos científicos pertenecientes a revistas de impacto académico elevado, además de repositorios de escuelas de postgrado. Entre los instrumentos de recolección de datos, la ficha de apuntes fue uno de los empleados, dicho instrumento sirvió para recolectar las características de las planchas metálicas como esfuerzo último, esfuerzo flexionante, esfuerzo de rotura, etcétera. Además de los requerimientos de la empresa metalmecánica como potencia requerida, presupuesto, espacio donde se pondrá la máquina, entre otros requerimientos.

Con respecto al método de análisis de datos, toda la data e información obtenida para el diseño de la máquina roladora se procesaron por medio del uso de una calculadora CASIO FX-570LA PLUS, que permitió realizar todos los cálculos pertinentes y así estimar los parámetros necesarios, además se utilizó el software CAD/CAE para el modelado de los elementos mecánicos de la máquina roladora, también software para poder estimar la inversión que conllevó poder implementar la propuesta de diseño de la máquina roladora y los indicadores de rentabilidad.

Finalmente, sobre los aspectos éticos, la información y datos que se emplearon en la investigación fueron de artículos científicos, tesis, libros y revistas indexadas, los mismos que fueron citados y referenciados en conformidad con la norma ISO 690 y de acuerdo a lo estipulado por la universidad, donde se empleó el parafraseo sin perder el contexto del texto para evitar la copia o plagio, citando al autor o autores

correspondientes, sin que pierda la originalidad y autoría. Además, se contó con el asesoramiento y guía de un asesor externo especialista en diseño mecánico para realizar el proyecto de investigación.

III. RESULTADOS

3.1. Describir el proceso productivo actual de la empresa

Descripción general del proceso productivo para fabricación de una estructura

Para fabricar una estructura metálica que incluye el proceso de rolado, se deben seguir varias etapas específicas. A continuación, se detalla cada una de estas etapas, incluyendo los tiempos estimados y los costos asociados.

1. Diseño e Ingeniería

En esta etapa se desarrollan los planos y las especificaciones técnicas de la estructura. Los ingenieros y diseñadores trabajan juntos para asegurar que los planos cumplan con los requisitos del cliente y las normativas aplicables. El tiempo puede variar dependiendo de la magnitud y complejidad del proyecto.

Tiempo estimado: 60 horas

Costo estimado: S/. 4500

2. Preparación del Material

Se seleccionan y preparan las materias primas necesarias para la fabricación. Esto incluye la revisión de las especificaciones del material y su corte a las dimensiones requeridas.

Tiempo estimado: 12 horas

Costo estimado: S/. 900

3. Maquinado de Piezas

Las piezas metálicas son maquinadas según las especificaciones del diseño. Este proceso puede incluir corte adicional, taladrado, y moldeado.

Tiempo estimado: 20 horas

Costo estimado: S/. 1500

4. *Proceso de Rolado*

Las piezas que requieren ser roladas son enviadas a una empresa tercera para su procesamiento. Esto incluye el transporte de ida y vuelta, el proceso de rolado, y la inspección del material rolado.

Tiempo estimado: 26 horas (incluyendo transporte y tiempos muertos)

Costo estimado: S/. 1800

5. *Soldadura y Ensamblaje*

Las piezas roladas y maquinadas son ensambladas y soldadas para formar la estructura completa. Se utilizan técnicas de soldadura especializadas para asegurar la integridad de la estructura.

Tiempo estimado: 30 horas

Costo estimado: S/. 2250

6. *Inspección y Control de Calidad*

La estructura ensamblada se inspecciona para verificar que cumple con las especificaciones técnicas y de calidad. Se realizan pruebas y ajustes necesarios para asegurar la calidad del producto final.

Tiempo estimado: 10 horas

Costo estimado: S/. 750

7. *Trabajos de Acabado*

La estructura se somete a procesos de acabado, como pintura o recubrimiento, para protegerla contra la corrosión y darle un acabado estético.

Tiempo estimado: 12 horas

Costo estimado: S/. 900

Tabla 1. Resumen de tiempos y costos del proceso productivo.

Etapas del proceso productivo	Tiempo estimado (h)	Costo estimado (S/.)
Diseño e Ingeniería	60	4500
Preparación del material	12	900
Maquinado de Piezas	20	1500
Proceso de rolado	26	1950
Soldadura y Ensamblaje	30	2250
Inspección y Control de Calidad	10	750
Trabajos de acabado	12	900
Total	170	12600

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se puede observar el resumen de los tiempos para cada etapa del proceso productivo de una estructura metálica, donde se estimó un tiempo total de 170 horas, con un costo total de S/. 12 600. Cabe precisar que el costo es para una estructura estándar, y que para estructuras complejas el costo puede variar.

Descripción de la etapa actual de rolado (por terceros)

Seguidamente, se realizó un análisis en la etapa actual de rolado o conformado realizado por terceros. Considerando los tiempos y costos, incluyendo transporte, tiempos muertos, y cuellos de botella.

La etapa actual de rolado realizado por terceros incluye las siguientes etapas:

- Preparación del material en la empresa: Selección y preparación del material a ser enviado a la empresa de rolado.
- Transporte del material a la empresa de rolado: Carga y transporte del material hacia la empresa que realiza el rolado.
- Rolado del material por terceros: Proceso de rolado del material en la empresa contratada.
- Transporte del material rolado de vuelta a la empresa: Transporte del material

rolado de vuelta a la empresa original.

- Inspección y ajustes en la empresa: Inspección del material rolado y ajustes necesarios.
- Tiempos Muertos y Cuellos de Botella: Tiempos de espera y retrasos durante el proceso.

Tiempos y costos de ejecución de trabajo

Para organizar y presentar los tiempos y costos de ejecución, se creó la Tabla 2 con tiempos y costos estimados para cada etapa de rolado.

Tabla 2. Resumen de tiempos y costos de la etapa de rolado.

Etapa del Proceso de Rolado	Descripción	Tiempo Estimado (horas)	Costo Estimado (S/.)
Preparación del Material en la Empresa	Selección y preparación del material	2	150
Transporte del Material a la Empresa de Rolado	Carga y transporte del material (ida)	4	300
Rolado del Material por Terceros	Proceso de rolado en la empresa contratada	8	600
Transporte del Material Rolado de Vuelta	Transporte del material rolado (vuelta)	4	300
Inspección y Ajustes en la Empresa	Inspección y ajustes del material rolado	2	150
Tiempos Muertos y Cuellos de Botella	Esperas y retrasos acumulados	6	450
Total		26	1950

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 2 se obtuvo que el costo total de la etapa actual de rolado realizada por terceros asciende a la suma de S/. 1950, donde se encarecen 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.

3.2. Determinar los parámetros de diseño

Espesor de la plancha

Debido a que el giro de negocio de la empresa es el trabajo con planchas de metal de hasta 3/8 de pulgada como espesor, entonces se determinó que la capacidad de rolado de la máquina es de hasta 3/8 de pulgada, equivalente a 9mm, ya que es lo más solicitado por los clientes.

$$e_{plancha} = 9 \text{ mm} = 0.009 \text{ m}$$

Nivel de tensión

La empresa metalmecánica cuenta con alimentación eléctrica suministrada por la empresa concesionaria de 380 V trifásico y 220 V monofásico, debido a ello, se debe considerar motores eléctricos que funcionen con dichos voltajes.

$$V_{trifásico} = 380 \text{ V}$$

$$V_{monofásico} = 220 \text{ V}$$

Capacidad de rolado

De acuerdo con información brindada por la empresa metalmecánica, que otorgo la ficha técnica de las planchas empleadas para el proceso de rolado, que se aprecia en el Anexo 9, siendo de acero de alta resistencia, con una longitud máxima de 2.4 metros, que viene a ser el ancho máximo que va a rolar la máquina. Las medidas de la plancha son de un ancho de 2.40 m por un largo máximo de 6 m, con un espesor máximo de 3/8" equivalente a 9 mm, extraídos de la Tabla 3.

Largo de la plancha metálica:

$$L_{plancha} = 6 \text{ m}$$

Ancho de la plancha metálica:

$$A_{plancha} = 2.4 \text{ m}$$

Tabla 3. Dimensiones estándar de las planchas metálicas empleadas.

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	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"

Fuente: Ficha técnica brindada por empresa metalmecánica.

Resistencia de la plancha metálica

De acuerdo con la Tabla 4 posee un límite de fluencia que va de 205 a 340 MPa, y que para el diseño de la máquina roladora se empleó el valor promedio para un diseño adecuado, que fue de 272.50 MPa.

Esfuerzo de fluencia:

$$\sigma_{fluencia} = 272.50 \text{ MPa}$$

Tabla 4. *Propiedades mecánicas del acero ASTM A 1011/A 1011M CS.*

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

Fuente: Ficha técnica brindada por empresa metalmecánica.

Velocidad de rolado

En consideración con Tecno Maquinaria (2024), debe ser de:

$$n_{rodillos} = 20 \text{ rpm}$$

Vida útil de la máquina roladora

Las horas de funcionamiento de la máquina roladora es de 8 horas diarias durante 302 días al año, descontando domingos y feriados, durante un período de 20 años, por lo que se obtuvo la cantidad de horas de vida útil:

$$Vida_{\text{útil}} = 8 \frac{h}{\text{día}} \times 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 20 \text{ años} = 48320 \text{ h}$$

3.3. Determinar los elementos de máquina

Seguidamente, se realizaron los cálculos pertinentes para seleccionar los elementos de máquina de la roladora.

Diámetro de los rodillos

El radio de curvatura para la plancha de 6 m es de:

$$L_{plancha} = \frac{\pi R_{curvatura}}{2}$$

Despejando se obtiene:

$$R_{curvatura} = \frac{2L_{plancha}}{\pi}$$

Reemplazando los datos:

$$R_{curvatura} = \frac{2 \times 6 \text{ m}}{\pi} = 3.82 \text{ m}$$

La longitud de contacto se calcula mediante la ecuación:

$$L_{contacto} = \sqrt{R_{curvatura} \times e_{plancha}}$$

$$L_{contacto} = \sqrt{3.82 \text{ m} \times 0.009 \text{ m}} = 0.1854 \text{ m}$$

Luego, se calculó de la fuerza de rolado, considerando un valor de “K” igual a 1.05 de acuerdo con recomendación de Alexander (1972) para un correcto diseño de la máquina roladora, por lo que se obtuvo lo siguiente:

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

$$F_{rolado} = \frac{1.05 \times 0.1854 \text{ m} \times 2.4 \text{ m} \times 0.009 \text{ m} \times 272.50 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{2 \times 3.82 \text{ m}} = 149.977 \text{ kN}$$

Calculando el diámetro del rodillo superior con la fuerza de rolado, considerando que actúa como una carga distribuida. Ahora, cabe precisar que se debe considerar el peso propio del material, pero como no se cuenta con la información del diámetro, se va tomar en cuenta un factor de seguridad para asegurar el peso propio del rodillo, siendo del 25% adicional de la carga, por lo tanto:

$$W_{rodillo superior} = 1.25 \times \frac{F_{rolado}}{A_{plancha}}$$

$$W_{rodillo superior} = 1.25 \times \frac{149.977 \text{ kN}}{2.4 \text{ m}} = 78.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Graficando dicha carga distribuida en el rodillo superior y empleando el software MDSolids para obtener las gráficas de fuerza cortante y momento flector.

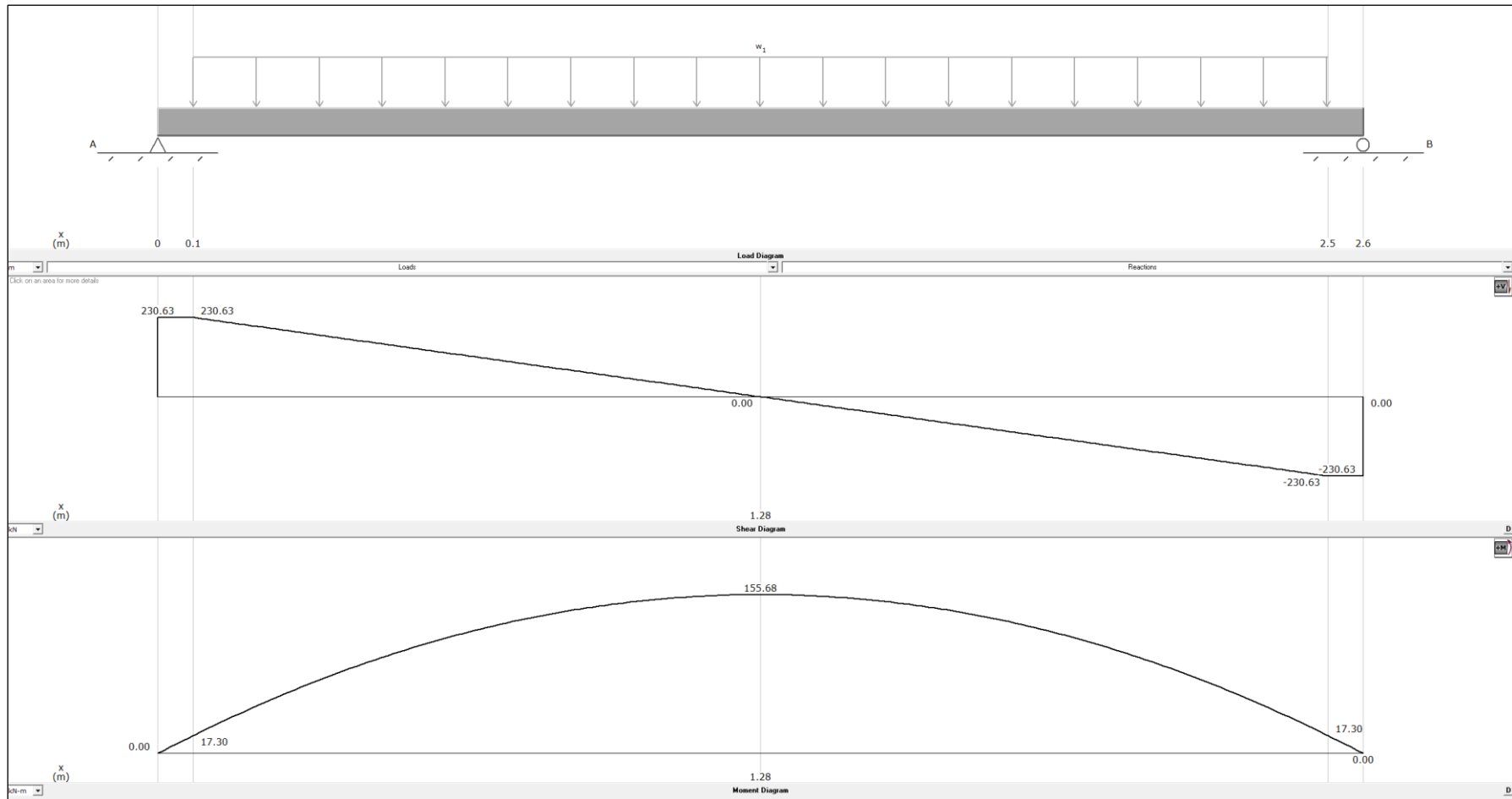


Figura 2. Fuerza distribuida en rodillo superior con sus diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Fuente: Elaborado con MDSolids 3.5.

De la Figura 2, se obtuvo que las reacciones en los apoyos y el momento flector máximo son:

$$R_1 = R_2 = 93.74 \text{ kN}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 63.27 \text{ kN.m}$$

Con dichos datos, se procedió a calcular el diámetro, considerando emplear un acero AISI 1040 laminado en caliente, ya que es un acero económico pero que ofrece un balance de propiedades mecánicas y costo, posee una buena resistencia y tenacidad, mejor resistencia a la fatiga que los aceros al carbono simples. Por lo tanto, tiene un límite de fluencia de:

$$\sigma_y = 290 \text{ MPa}$$

Calculando el diámetro del eje en los extremos, brindando un coeficiente de seguridad de 8, el esfuerzo cortante de diseño queda restringido a:

$$\tau_{dise\tilde{n}o} = \frac{\sigma_y}{F_{seguridad}}$$

$$\tau_{dise\tilde{n}o} = \frac{290 \text{ MPa}}{8} = 36.25 \text{ MPa}$$

Entonces, el diámetro por esfuerzo cortante es:

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot R_1}{\pi \cdot \tau_{dise\tilde{n}o}}}$$

$$d_1 = d_2 = \sqrt{\frac{4 (93.74 \times 10^3 \text{ N})}{\pi \left(36.25 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)}} = 0.0574 \text{ m} \approx 0.060 \text{ m}$$

Ahora, cabe indicar que de acuerdo con Budynas & Nisbett (2012), el rodillo debe ser hueco para un mejor proceso de rolado, es decir, para poder doblar mejor las planchas metálicas, y que el diámetro interior debe ser entre el 60-80% para poder proporcionar un buen equilibrio entre peso y resistencia, considerando usar el 80%, procediendo a calcular dichos diámetros de la siguiente manera:

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

Dónde:

$$D_{ext} = D$$

$$D_{int} = 0.80D$$

Reemplazando los datos:

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - (0.80D)^2) = \frac{\pi(0.06 \text{ m})^2}{4}$$

$$\frac{\pi}{4}(D^2 - 0.64D^2) = 0.002827 \text{ m}^2$$

$$\frac{\pi}{4}(0.36D^2) = 0.002827 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.002827 \text{ m}^2}{\pi \times 0.36}} = 0.099992 \text{ m} \approx 0.10 \text{ m}$$

Entonces:

$$D_{ext} = 0.10 \text{ m}$$

$$D_{int} = 0.80(0.10 \text{ m}) = 0.08 \text{ m}$$

Por lo tanto, se debe considerar un diámetro exterior de 100 mm y diámetro interior de 80 mm para poder brindar la resistencia adecuada al momento del proceso de rolado.

Selección de rodamientos para eje de rodillos

Ahora, se seleccionaron los rodamientos para cada apoyo, con la metodología brindada por SKF. Cabe resaltar que la carga es bastante grande, por lo que se emplearon rodamientos de rodillos a rótula porque soportan cargas altas. Entonces, se tuvo lo siguiente:

$$F_{radial} = F_r = R_1 = \sqrt{(77.10 \text{ kN})^2 + (0.000283 \text{ kN})^2} = 77.10 \text{ kN}$$

$$F_a = F_{axial} = 0.845 \text{ kN}$$

En primer lugar, se determinó lo siguiente:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0.845 \text{ kN}}{77.10 \text{ kN}} = 0.011$$

Posteriormente, se realizó la comparación entre la relación obtenida de dividir la carga axial y radial, la cual se supone es menor al valor de “e”, por lo tanto, se empleó la ecuación siguiente:

$$P = F_{radial}$$

$$P = 77.10 \text{ kN}$$

Considerando los parámetros siguientes:

$$n_{rodillo superior} = 20 \text{ rpm}$$

$$p = 3$$

Seguidamente, se consideró que los rodamientos deben tener una vida útil de 48320 horas, por lo tanto, se tuvo que:

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

Despejando la fórmula anterior:

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

Sustituyendo la información:

$$C = 77.10 \text{ kN} \times \sqrt[3]{\frac{60 \times 20 \text{ rpm} \times 48320 \text{ h}}{10^6}} = 298.42 \text{ kN}$$

Seleccionando un rodamiento SKF T4DB 180 de 180 mm de diámetro, con

parámetros:

$$C = 309 \text{ kN}$$

$$C_o = 450 \text{ kN}$$

$$e = 0.48$$

Reemplazando los datos:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 (20 \text{ rpm})} \left(\frac{309 \text{ kN}}{77.10 \text{ kN}} \right)^3 = 53645.22 \text{ h}$$

Cumpliendo con lo requerido respecto a la vida útil de 48320 h, superándose dicho valor, por ende, se seleccionó un rodamiento SKF T4DB 180 de 180 mm de diámetro interior, ancho de 32 mm y diámetro exterior de 240 mm para el apoyo de soporte por donde no se podrán extraer las planchas roladas (Figura 3).



Figura 3. Rodamiento SKF T4DB 180.

Fuente: (Mott, 2006).

Potencia del motor eléctrico

Calculando el torque:

$$T_{roladora} = F_{rolado} \times \frac{d_1}{2}$$

$$T_{roladora} = 149.977 \text{ kN} \times \frac{0.180 \text{ m}}{2} = 13.498 \text{ kN.m}$$

La potencia del motor es:

$$P_{motor\ roladora} = T_{roladora} \times n_{rodillos}$$

$$P_{motor\ roladora} = 13.498\ kN.m \times 20 \frac{(2\pi\ rad)}{60\ s} = 28.27\ kW$$

Considerando una eficiencia de 95% (Baldissera et al., 2024) para el sistema de transmisión de dientes rectos, se obtuvo que el motor debe tener una potencia de:

$$P_{motor\ corregida} = \frac{P_{motor\ roladora}}{\eta_{transmisión}}$$

$$P_{motor\ corregida} = \frac{28.27\ kW}{0.95} = 29.76\ kW$$

Por ende, se seleccionó un motor de WEG W22Xec IE3 30kW 6P 200L 3F 440 V 60 Hz, y sus datos técnicos se adjuntaron en el Anexo 9.

Sistema de transmisión

Se empleó un sistema de transmisión de engranajes de dientes rectos, ya que no poseen un costo elevado, un costo de mantenimiento bajo y además que brindan una eficiencia de hasta 90%. En primer lugar, se determina el factor de sobrecarga de acuerdo a la fuente de potencia y máquina a impulsar, que se consideró una fuente de potencia uniforme por ser un motor eléctrico y de choque ligero ya que es una máquina roladora, eligiendo un valor de 1.25 para sobrecarga, de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Recomendaciones para factor de sobrecarga.

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

Fuente: (Mott, 2006).

Entonces, calculando la potencia de diseño de la máquina roladora, de acuerdo con la metodología de Mott (2006), se obtuvo:

$$P_{diseño} = K_{sobrecarga} \times P_{motor\ roladora}$$

$$P_{diseño} = 1.25 \times 30\text{ kW} = 37.50\text{ kW}$$

Utilizando la Figura 4 y con la información de potencia de diseño y la velocidad de rotación del motor seleccionado, se consideró utilizar un paso diametral de 5 para el diseño de los engranajes del sistema de transmisión.

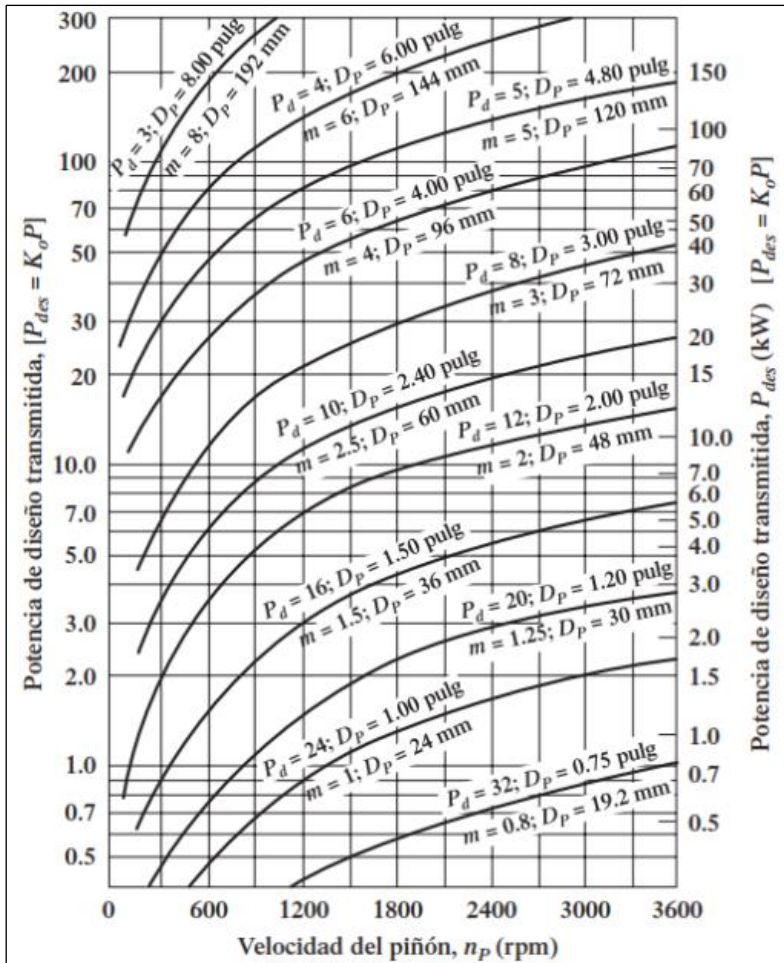


Figura 4. Gráfica para seleccionar el paso diametral.

Fuente: (Mott, 2006).

Para los dientes a emplear en el piñón, considerando que Mott (2006) recomienda utilizar entre 17 a 20 dientes, pero para que no sea tan grande, se seleccionó 17 dientes para el piñón.

$$N_p = 17\text{ dientes}$$

Seguidamente, se calculó la relación de velocidad:

$$R_v = \frac{n_{motor\ roladora}}{n_{rodillo}}$$

$$R_v = \frac{1180\ rpm}{20\ rpm} = 59$$

Dicho valor obtenido es demasiado alto, por lo que se tuvo en consideración emplear un sistema de transmisión de 4 etapas, pero que en la caja portaengranajes se tendrán 3 etapas de reducción y la última es exterior, entre el eje de salida de la caja de transmisión y los rodillos inferiores de la máquina roladora. Entonces se tuvo que:

$$R_{v.etapa} = \sqrt[4]{RV}$$

$$R_{v.etapa} = \sqrt[4]{59} = 2.77$$

$$R_{v.etapa1} = R_{v.etapa2} = R_{v.etapa3} = R_{v.etapa4} = 2.77$$

Con dicha información, se procedió a elaborar la Tabla 6, donde se resume la información detallada de cada etapa de reducción, considerando la cantidad de dientes estimado para piñón y engrane, además de la cantidad de dientes real, la relación de velocidad calculada y real, con las velocidades inicial y final en cada etapa.

Tabla 6. 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
Primera	17	47.09	17	47	2.77	2.765	1180	426.76
Segunda	17	47.09	17	47	2.77	2.765	426.76	154.34
Tercera	17	47.09	17	47	2.77	2.765	154.34	55.82
Cuarta	17	47.09	17	47	2.77	2.765	55.82	20.19

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, son necesarios 17 dientes en cada piñón y 47 dientes en cada engrane conducido, logrando obtener una relación de velocidad real de 2.765 y además de una velocidad de salida para el eje del rodillo de 20.19 rpm.

Luego, se calculó el paso diametral, distancia de centro a centro, velocidad de línea de paso y carga o fuerza a transmitir.

$$P_d = 5$$

$$N_P = 17 \text{ dientes}$$

$$N_E = 47 \text{ dientes}$$

$$D_P = \frac{N_P}{P_d}$$

$$D_P = \frac{17}{5} = 3.40 \text{ pulg} \approx 86.36 \text{ mm}$$

$$D_E = \frac{N_E}{P_d}$$

$$D_E = \frac{47}{5} = 9.40 \text{ pulg} \approx 238.76 \text{ mm}$$

$$C = \frac{(N_P + N_E)}{2 \times P_d}$$

$$C = \frac{(17 + 47)}{2 \times 5} = 6.40 \text{ pulg} \approx 162.56 \text{ mm}$$

$$v_{tang} = \frac{\pi \times D_P \times n_{motor \text{ roladora}}}{12}$$

$$v_{tang} = \frac{\pi \times 3.40 \times 1180}{12} = 1050.34 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

Carga transmitida:

$$W_{transmitir} = 33000 \times \frac{P_{motor \text{ roladora}}}{v_{tang}}$$

$$W_{transmitir} = 33000 \times \frac{30}{1050.34} = 942.55 \text{ lbf}$$

Calculando el ancho de cara de los engranajes:

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

$$F = \frac{12}{5} = 2.40 \text{ pulg} \approx 60.96 \text{ mm}$$

Empleando al acero como el material para los engranajes, el coeficiente elástico de acuerdo con la Tabla 7 es:

$$C_p = 2300$$

Tabla 7. Factor para seleccionar el coeficiente elástico.

Material del piñón	Módulo de elasticidad, E_p , lb/pulg ² (MPa)	Material y módulo de elasticidad E_g , lb/pulg ² (MPa), del engrane					
		Acero 30×10^6 (2×10^5)	Hierro maleable 25×10^6 (1.7×10^5)	Hierro nodular 24×10^6 (1.7×10^5)	Hierro colado 22×10^6 (1.5×10^5)	Bronce de aluminio 17.5×10^6 (1.2×10^5)	Bronce de estaño 16×10^6 (1.1×10^5)
Acero	30×10^6 (2×10^5)	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	25×10^6 (1.7×10^5)	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	24×10^6 (1.7×10^5)	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	22×10^6 (1.5×10^5)	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	17.5×10^6 (1.2×10^5)	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	16×10^6 (1.1×10^5)	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/pulg²)^{0.5} o (MPa)^{0.5}

Fuente: (Mott, 2006).

Ahora, es indispensable conocer el número de calidad Q_v , entonces al emplear la Tabla 8, como se conoce la velocidad de la línea de pasom se obtiene:

$$Q_v = 8$$

Tabla 8. *Números de calidad AGMA recomendados.*

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor			
mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14
Accionamientos de máquinas herramienta y de otros sistemas mecánicos de alta calidad			
Velocidad de la línea de paso (pies/min)	Número de calidad	Velocidad de la línea de paso	
0-800	6-8	0-4	
800-2000	8-10	4-11	
2000-4000	10-12	11-22	
Más de 4000	12-14	Más de 22	

Fuente: (Mott, 2006).

Determinando el factor dinámico al utilizar la Figura 5, incluyendo las fórmulas descritas respectivamente, se obtuvo que:

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{0.667}}{4}$$

$$B = \frac{(12 - 8)^{0.667}}{4} = 0.630252$$

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

$$A = 50 + 56 (1 - 0.630252) = 70.7059$$

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

$$K_v = \left(\frac{70.7059 + \sqrt{1050.34}}{70.7059} \right)^{0.630252} = 1.2685$$

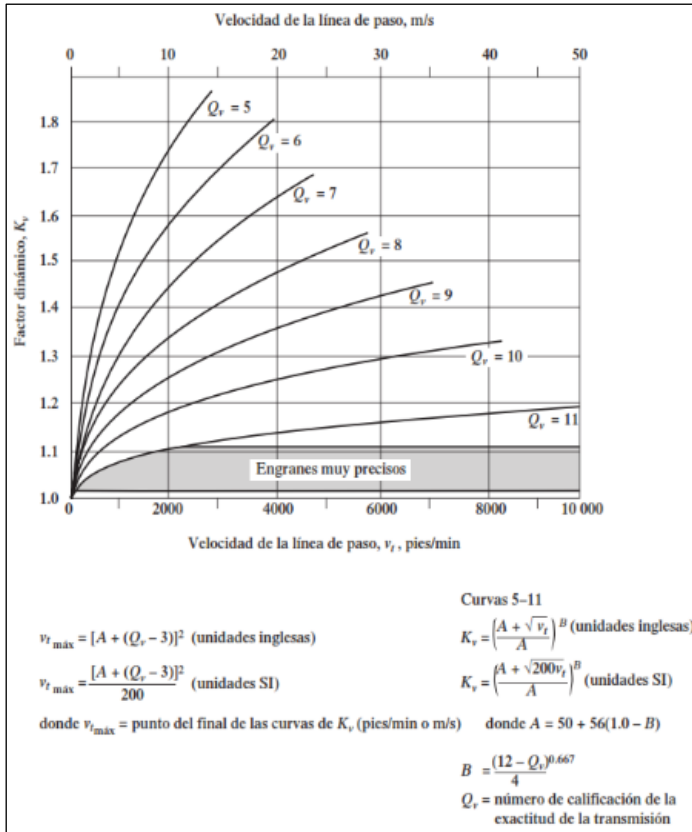


Figura 5. Curvas para determinar el factor dinámico.

Fuente: (Mott, 2006).

Como los engranajes empleados son de dientes rectos y que el addendum del piñón y engranaje es de 1, aplicando la Figura 6 se obtiene el factor geométrico para flexión para ambos engranajes:

$$J_P = 0.295$$

$$J_E = 0.40$$

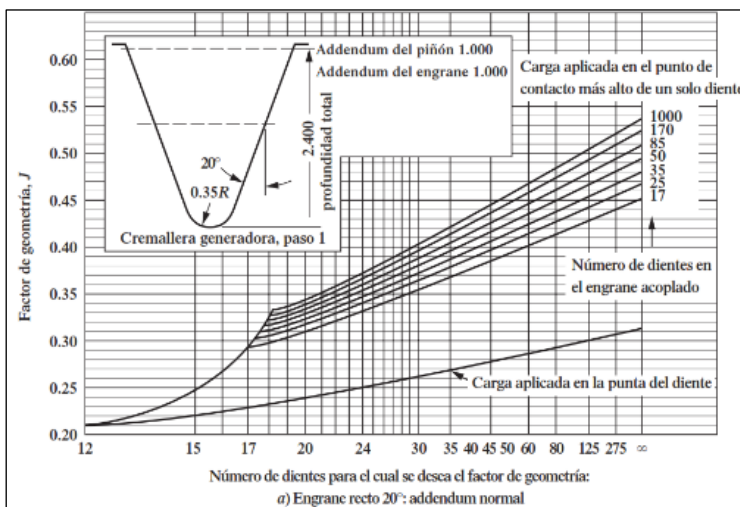


Figura 6. Factor de geometría.

Fuente: (Mott, 2006).

Además, es importante calcular el factor de geometría para picadura, mediante el uso de la Figura 7, teniendo en cuenta que los engranajes rectos poseen un ángulo de presión de 20°, obteniendo:

$$I = 0.09$$

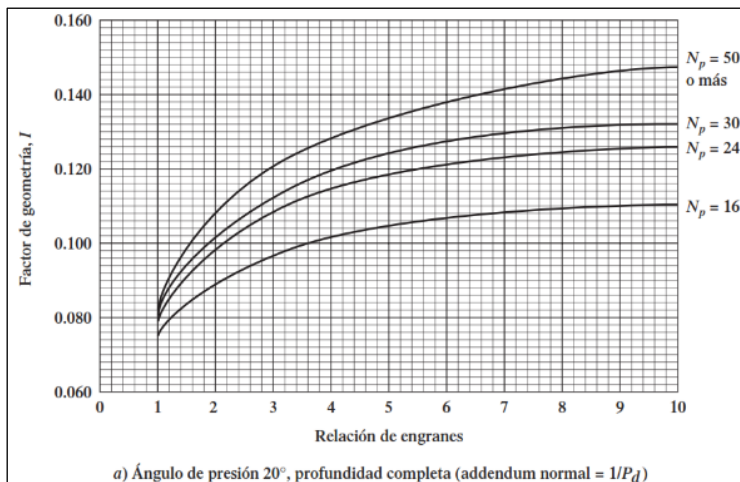


Figura 7. Factor de geometría para piñones rectos externos.

Fuente: (Mott, 2006).

Aplicando la Figura 8 y Figura 9 se calculó el factor de proporción (K_m), considerando que se fabrican como unidades comerciales cerradas de engranajes, logrando obtener:

$$\frac{F}{D_{\text{piñón}}} = \frac{2.40 \text{ pulg}}{3.40 \text{ pulg}} = 0.7059$$

$$C_{pf} = \frac{F}{10 D_p} - 0.0375 + 0.0125 F$$

$$C_{pf} = \frac{0.7059}{10} - 0.0375 + 0.0125 \times 2.40 \text{ pulg} = 0.0684$$

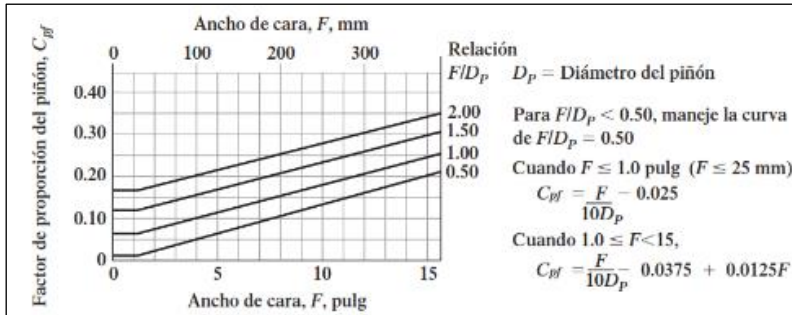


Figura 8. Factor de proporción.

Fuente: (Mott, 2006).

$$C_{ma} = 0.127 + 0.0158 F - 1.093 \times 10^{-4} F^2$$

$$C_{ma} = 0.127 + 0.0158 \times 2.40 \text{ pulg} - 1.093 \times 10^{-4} (2.40 \text{ pulg})^2 = 0.1643$$

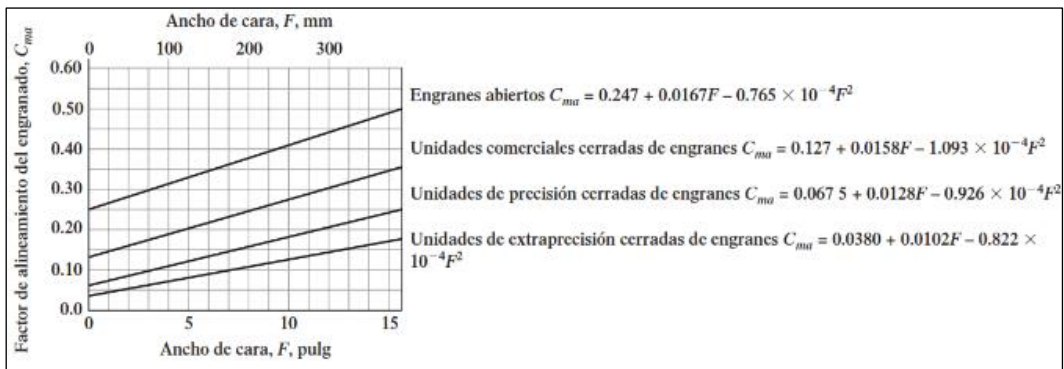


Figura 9. Factor de alineamiento del engranado.

Fuente: (Mott, 2006).

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

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

$$K_m = 1 + 0.0684 + 0.1643 = 1.2327$$

Utilizando la Tabla 9 para calcular el factor de tamaño (K_S), tomando en consideración que el paso diametral es de 5:

$$K_S = 1.00$$

Tabla 9. Factor de tamaño sugerido.

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

Fuente: (Mott, 2006).

De la Figura 10 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.

$$K_B = 1$$

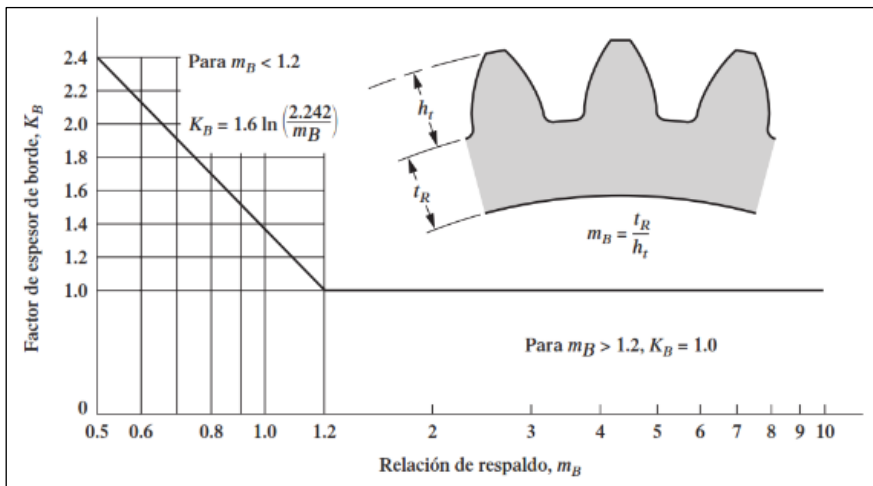


Figura 10. Factor de espesor de borde.

Fuente: (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.

$$f_{serv} = 1.25$$

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 10, es de:

$$K_R = 1.00$$

Tabla 10. *Factor de confiabilidad.*

Confiabilidad	K_R
0.90, una falla en 10	0.85
0.99, una falla en 100	1.00
0.999, una falla en 1000	1.25
0.9999, una falla en 10 000	1.50

Fuente: (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:

$$V_{roladora} = 48320 \text{ h}$$

$$q = 1$$

$$N_{cP1} = 60 \times V_{roladora} \times n_{p1} \times q$$

$$N_{cE1} = 60 \times V_{roladora} \times n_{E1} \times q$$

$$N_{cP1} = 60 \times 48320 \times 1180 \times 1$$

$$N_{cE1} = 60 \times 48320 \times 426.76 \times 1$$

$$N_{cP1} = 3.421 \times 10^9$$

$$N_{cE1} = 1.237 \times 10^9$$

$$N_{cP2} = 60 \times V_{roladora} \times n_{p2} \times q$$

$$N_{cE2} = 60 \times V_{roladora} \times n_{E2} \times q$$

$$N_{cP2} = 60 \times 48320 \times 426.76 \times 1$$

$$N_{cE2} = 60 \times 48320 \times 154.34 \times 1$$

$$N_{cP2} = 1.237 \times 10^9$$

$$N_{cE2} = 4.475 \times 10^8$$

$$N_{cP3} = 60 \times V_{roladora} \times n_{p3} \times q$$

$$N_{cE3} = 60 \times V_{roladora} \times n_{E3} \times q$$

$$N_{cP3} = 60 \times 48320 \times 154.34 \times 1$$

$$N_{cE3} = 60 \times 48320 \times 55.82 \times 1$$

$$N_{cP3} = 4.475 \times 10^8$$

$$N_{cE3} = 1.618 \times 10^8$$

$$N_{cP4} = 60 \times V_{roladora} \times n_{P4} \times q$$

$$N_{cE4} = 60 \times V_{roladora} \times n_{E4} \times q$$

$$N_{cP4} = 60 \times 48320 \times 55.82 \times 1$$

$$N_{cE4} = 60 \times 76800 \times 20.19 \times 1$$

$$N_{cP4} = 1.618 \times 10^8$$

$$N_{cE4} = 5.853 \times 10^7$$

Con dichos valores de carga calculados, empleando la Figura 11, se determinó los factores de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo. Entonces, se obtuvo lo siguiente:

$$Y_{NP1} = 1.3558 N_{cP1}^{-0.0178}$$

$$Y_{NE1} = 1.3558 N_{cE1}^{-0.0178}$$

$$Y_{NP1} = 1.3558 (3.421 \times 10^9)^{-0.0178}$$

$$Y_{NE1} = 1.3558 (1.237 \times 10^9)^{-0.0178}$$

$$Y_{NP1} = 0.917$$

$$Y_{NE1} = 0.934$$

$$Y_{NP2} = 1.3558 N_{cP2}^{-0.0178}$$

$$Y_{NE2} = 1.3558 N_{cE2}^{-0.0178}$$

$$Y_{NP2} = 1.3558 (1.237 \times 10^9)^{-0.0178}$$

$$Y_{NE2} = 1.3558 (4.475 \times 10^8)^{-0.0178}$$

$$Y_{NP2} = 0.934$$

$$Y_{NE2} = 0.951$$

$$Y_{NP3} = 1.3558 N_{cP3}^{-0.0178}$$

$$Y_{NE3} = 1.3558 N_{cE3}^{-0.0178}$$

$$Y_{NP3} = 1.3558 (4.475 \times 10^8)^{-0.0178}$$

$$Y_{NE3} = 1.3558 (1.618 \times 10^8)^{-0.0178}$$

$$Y_{NP3} = 0.951$$

$$Y_{NE3} = 0.968$$

$$Y_{NP4} = 1.3558 N_{cP4}^{-0.0178}$$

$$Y_{NE4} = 1.3558 N_{cE4}^{-0.0178}$$

$$Y_{NP4} = 1.3558 (1.618 \times 10^8)^{-0.0178}$$

$$Y_{NE4} = 1.3558 (5.853 \times 10^7)^{-0.0178}$$

$$Y_{NP4} = 0.968$$

$$Y_{NE4} = 0.986$$

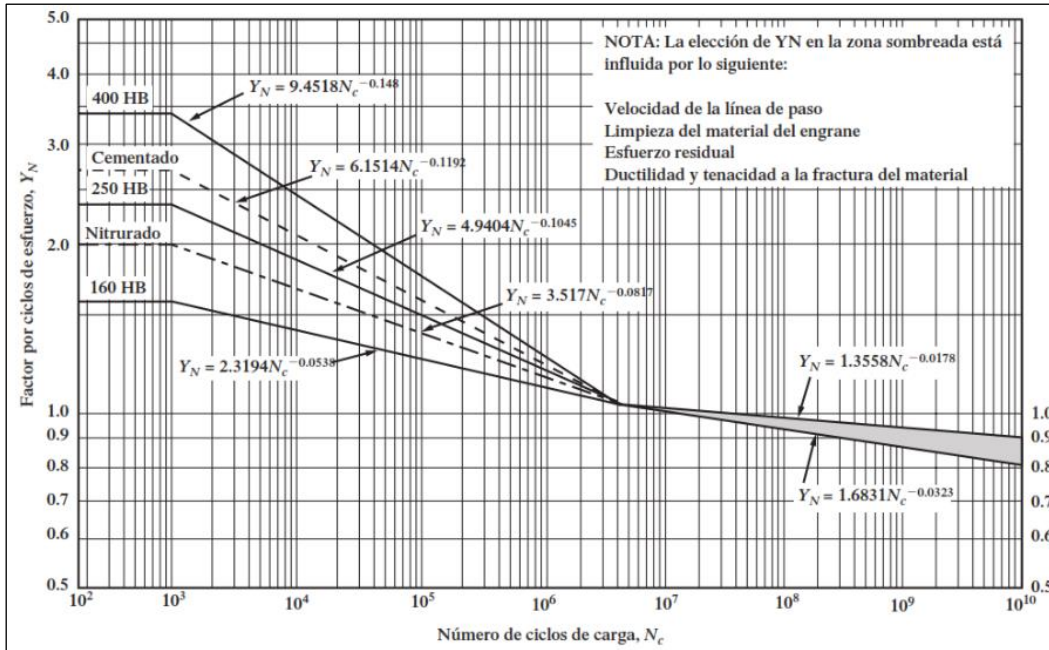


Figura 11. Factor de resistencia flexionante por ciclos de esfuerzo.

Fuente: (Mott, 2006).

Con la Figura 12 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:

$$Z_{NP1} = 1.4488 N_{CP1}^{-0.023}$$

$$Z_{NE1} = 1.4488 N_{CE1}^{-0.023}$$

$$Z_{NP1} = 1.4488 (3.421 \times 10^9)^{-0.023}$$

$$Z_{NE1} = 1.4488 (1.237 \times 10^9)^{-0.023}$$

$$Z_{NP1} = 0.874$$

$$Z_{NE1} = 0.895$$

$$Z_{NP2} = 1.4488 N_{CP2}^{-0.023}$$

$$Z_{NE2} = 1.4488 N_{CE2}^{-0.023}$$

$$Z_{NP2} = 1.4488 (1.237 \times 10^9)^{-0.023}$$

$$Z_{NE2} = 1.4488 (4.475 \times 10^8)^{-0.023}$$

$$Z_{NP2} = 0.895$$

$$Z_{NE2} = 0.916$$

$$Z_{NP3} = 1.4488 N_{CP3}^{-0.023}$$

$$Z_{NE3} = 1.4488 N_{CE3}^{-0.023}$$

$$Z_{NP3} = 1.4488 (4.475 \times 10^8)^{-0.023}$$

$$Z_{NE3} = 1.4488 (1.618 \times 10^8)^{-0.023}$$

$$Z_{NP3} = 0.916$$

$$Z_{NE3} = 0.938$$

$$Z_{NP4} = 1.4488 N_{CP4}^{-0.023}$$

$$Z_{NE4} = 1.4488 N_{CE4}^{-0.023}$$

$$Z_{NP4} = 1.4488 (1.618 \times 10^8)^{-0.023}$$

$$Z_{NE4} = 1.4488 (5.853 \times 10^7)^{-0.023}$$

$$Z_{NP4} = 0.938$$

$$Z_{NE4} = 0.960$$

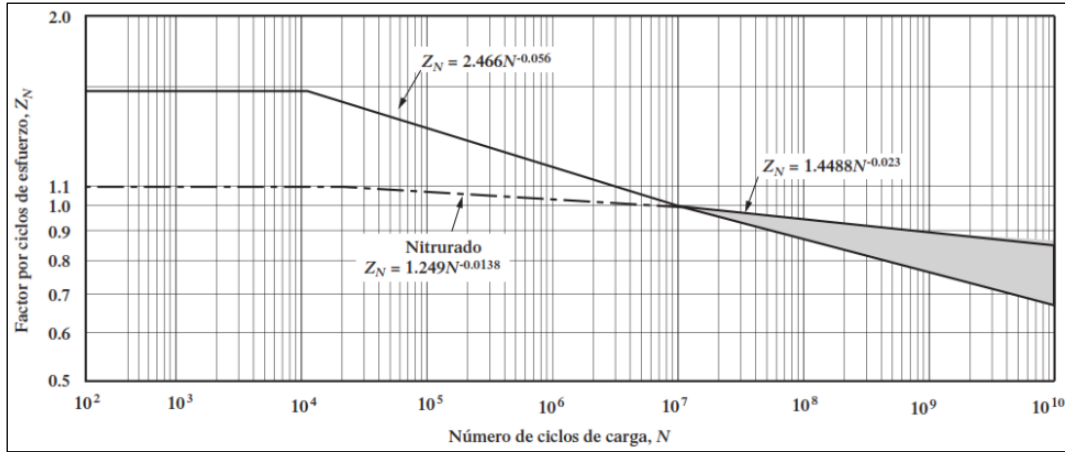


Figura 12. Factor de resistencia a la picadura por ciclos de esfuerzo.

Fuente: (Mott, 2006).

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

$$S_{tP1} = \frac{W_{transmitir} \times P_d}{F \times J_P} \times K_o \times K_S \times K_m \times K_B \times K_V$$

$$S_{tP1} = \frac{942.55 \times 5}{2.40 \times 0.295} \times 1.25 \times 1 \times 1.2327 \times 1 \times 1.2685 = 13010.65 \text{ psi}$$

$$S_{tE1} = S_{tP1} \left(\frac{J_P}{J_E} \right)$$

$$S_{tE1} = 13010.65 \text{ psi} \left(\frac{0.295}{0.40} \right) = 9595.35 \text{ psi}$$

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

$$S_{atP1} = S_{tP1} \times \frac{K_R \times f_{serv}}{Y_{NP1}}$$

$$S_{atP1} = 13010.65 \text{ psi} \times \frac{1 \times 1.25}{0.917} = 17735.35 \text{ psi}$$

$$S_{atE1} = S_{tE1} x \frac{K_R x f_{serv}}{Y_{NE1}}$$

$$S_{atE1} = 9595.35 \text{ psi} x \frac{1 x 1.25}{0.934} = 12841.74 \text{ psi}$$

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:

$$S_{c1} = C_P x \sqrt{\frac{W_{transmitir} x K_o x K_s x K_m x K_v}{F x D_p x I}}$$

$$S_{c1} = 2300 \text{ psi} x \sqrt{\frac{942.55 x 1.25 x 1 x 1.2327 x 1.2685}{2.4 x 3.40 x 0.09}} = 115197.39 \text{ psi}$$

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

$$S_{acP1} = S_{c1} x \frac{K_R x f_{serv}}{Z_{NP1}}$$

$$S_{acP1} = 115197.39 \text{ psi} x \frac{1 x 1.25}{0.874} = 164756.00 \text{ psi}$$

$$S_{acE1} = S_{c1} x \frac{K_R x f_{serv}}{Z_{NE1}}$$

$$S_{acE1} = 115197.39 \text{ psi} x \frac{1 x 1.25}{0.895} = 160890.21 \text{ psi} = 1109.30 \text{ MPa}$$

De la Figura 13 se empleó la fórmula para determinar la dureza Brinell, para acero grado 2, donde se obtuvo lo siguiente:

$$HB = (S_{acP1} - 34300) x \frac{1}{349}$$

$$HB = (160890.21 - 34300) x \frac{1}{349} = 362.72$$

De acuerdo con lo calculado, se seleccionó un acero AISI 4140 grado 2, con una

dureza Brinell de HB 370. Donde el esfuerzo de contacto para dicha dureza es de 163430 psi o equivalente a 1126.81 MPa, cumpliendo con lo requerido, ya que sobrepasa el esfuerzo de contacto esperado en el piñón más crítico en la primera etapa.

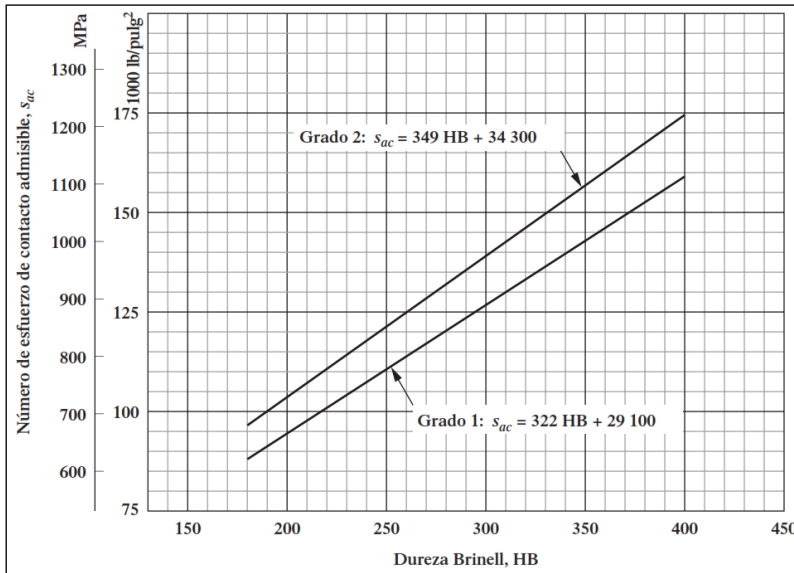


Figura 13. Esfuerzo de contacto admisible (Número Brinell).

Fuente: (Mott, 2006).

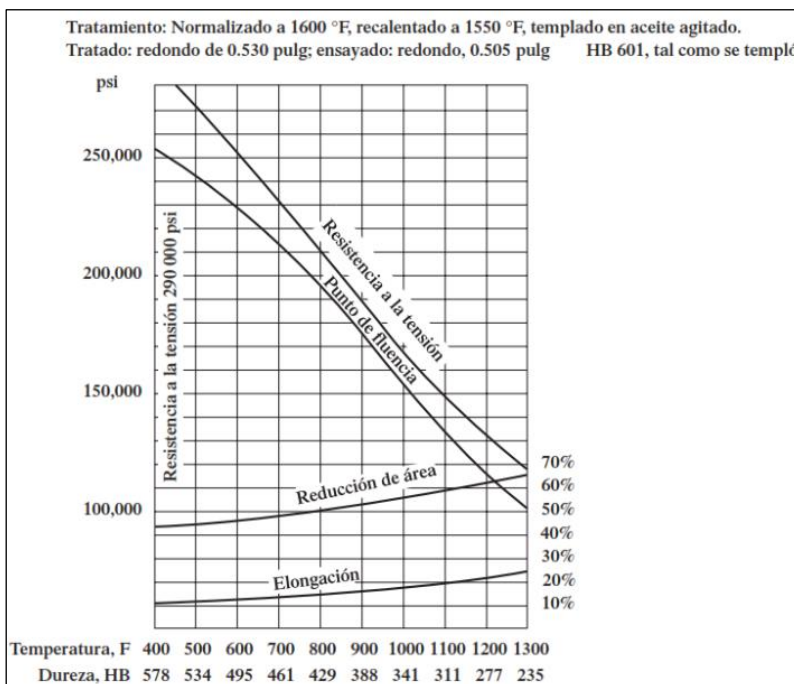


Figura 14. Características del material acero AISI 4140.

Fuente: (Mott, 2006).

3.4. Realizar una simulación empleando software de diseño mecánico

Con la información obtenida de los cálculos, se procedió a emplear el software SolidWorks para poder efectuar el modelado de los componentes de la máquina roladora.

Análisis estático del rodillo con carga

Modelando el eje del rodillo en SolidWorks para verificar si los cálculos realizados son correctos mediante un análisis estático, pero con las medidas anteriormente calculadas no se logró satisfacer con el factor de seguridad ya que fue inferior a la unidad y la deformación era demasiado grande. Entonces, se modificaron los diámetros externos e internos, siendo de 181 mm y 108.60 mm, respectivamente, pero de 180 mm en los apoyos, con un acero AISI 1040 laminado en caliente. De acuerdo a ello, se obtuvo lo siguiente:

La Figura 15 muestra las tensiones de Von Mises que se producen en el rodillo de la máquina roladora, obteniendo un valor máximo de 121.20 MPa originado en uno de los extremos y un valor mínimo de 77.28 kPa producido en el centro del eje.

La Figura 16 detalla las deformaciones o desplazamientos originados en el rodillo de la máquina roladora, donde se genera una deformación máxima de 0.8693 mm en el centro del rodillo.

La Figura 17 presenta los factores de seguridad obtenidos en el rodillo de la máquina roladora, obteniendo un mínimo valor en uno de los extremos siendo de 2.331 y un máximo de 3658 en el centro del rodillo. Con ello se logró demostrar que la selección del material y las dimensiones del eje para el rodillo es adecuada.

La Figura 18 muestra las reacciones generadas en los apoyos del rodillo de la máquina roladora, que sirven para la selección de los rodamientos de modo que trabaje correctamente.

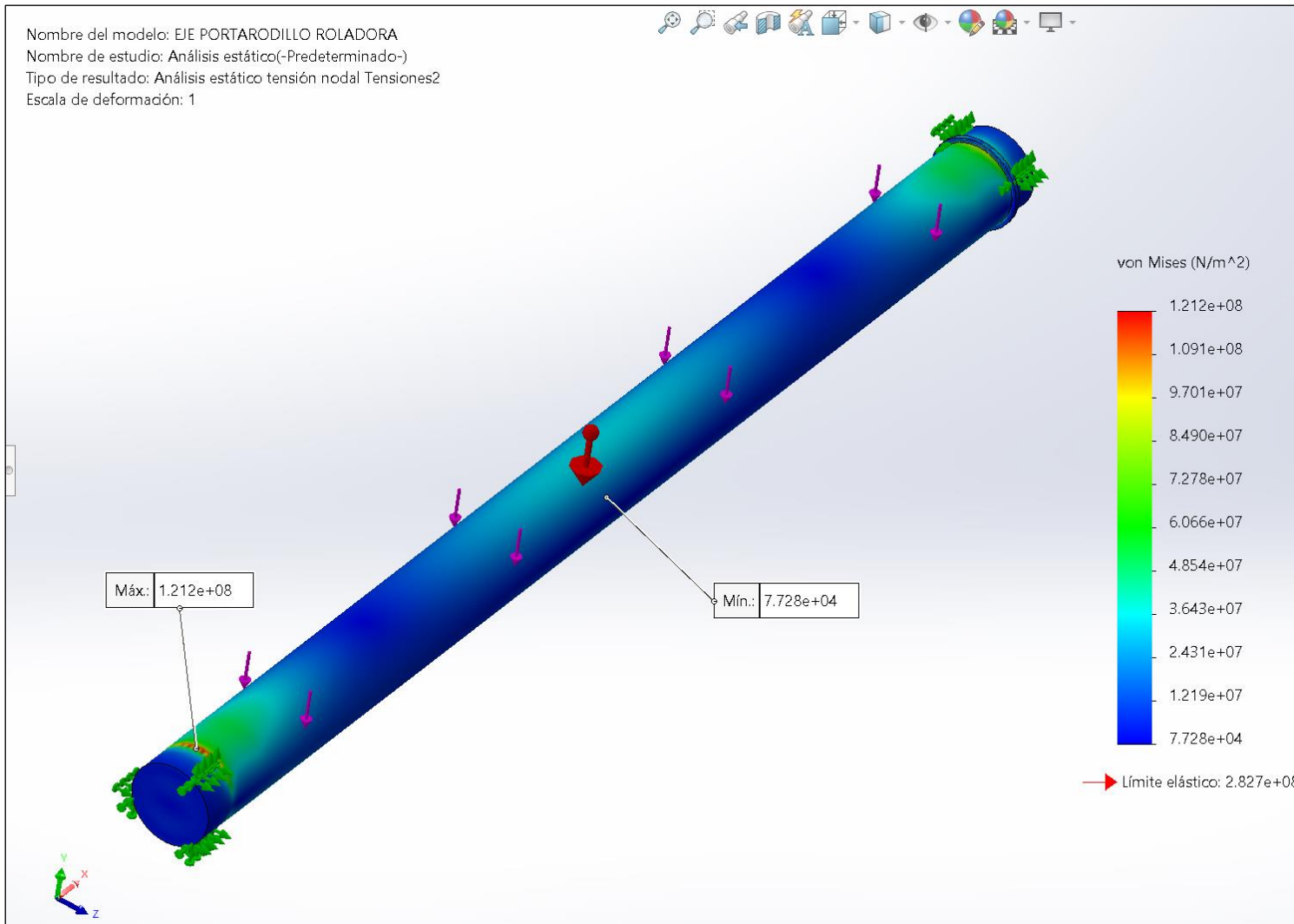


Figura 15. Tensiones de Von Mises obtenidos en el eje del rodillo de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

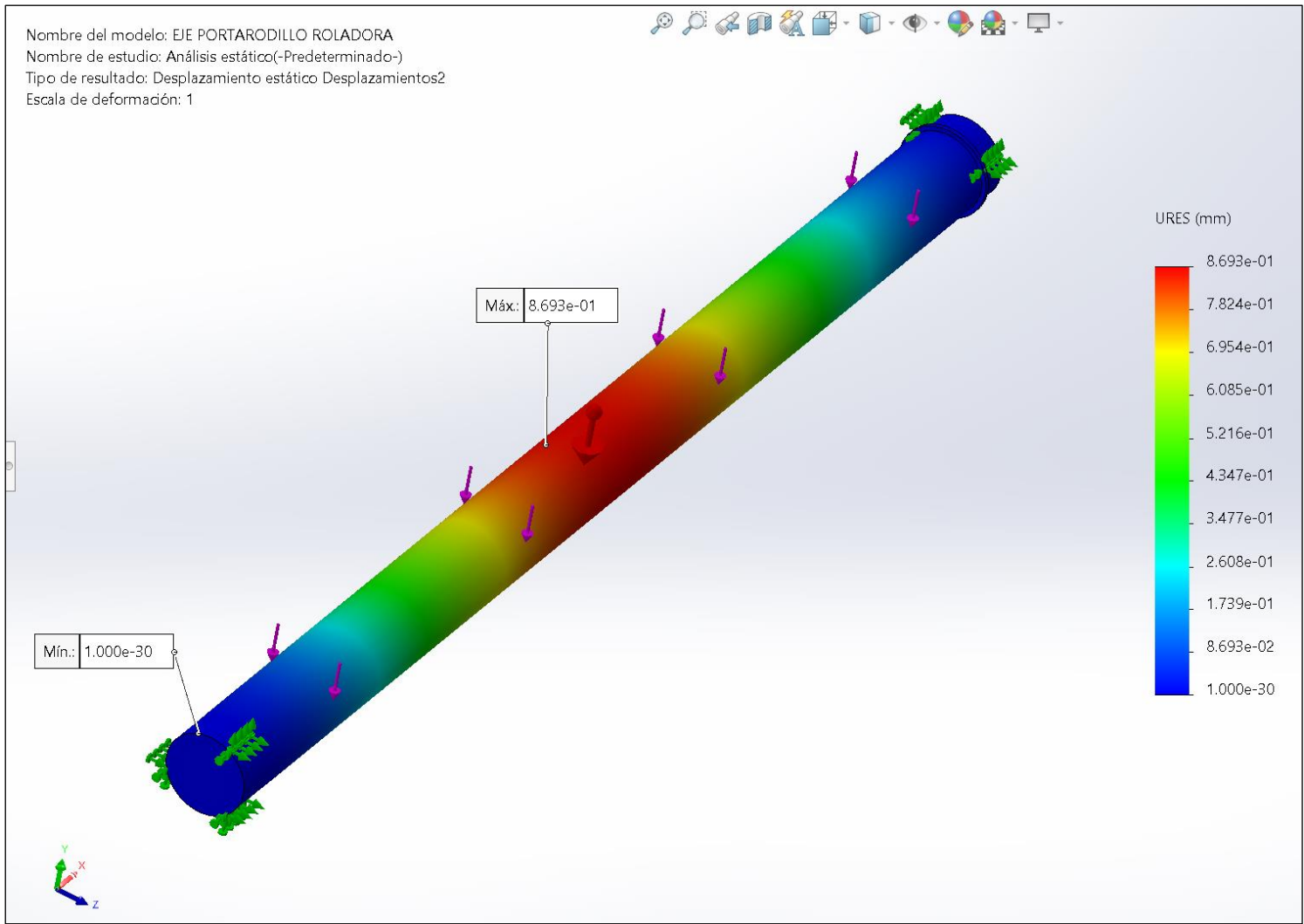


Figura 16. Desplazamientos generados en el eje del rodillo de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

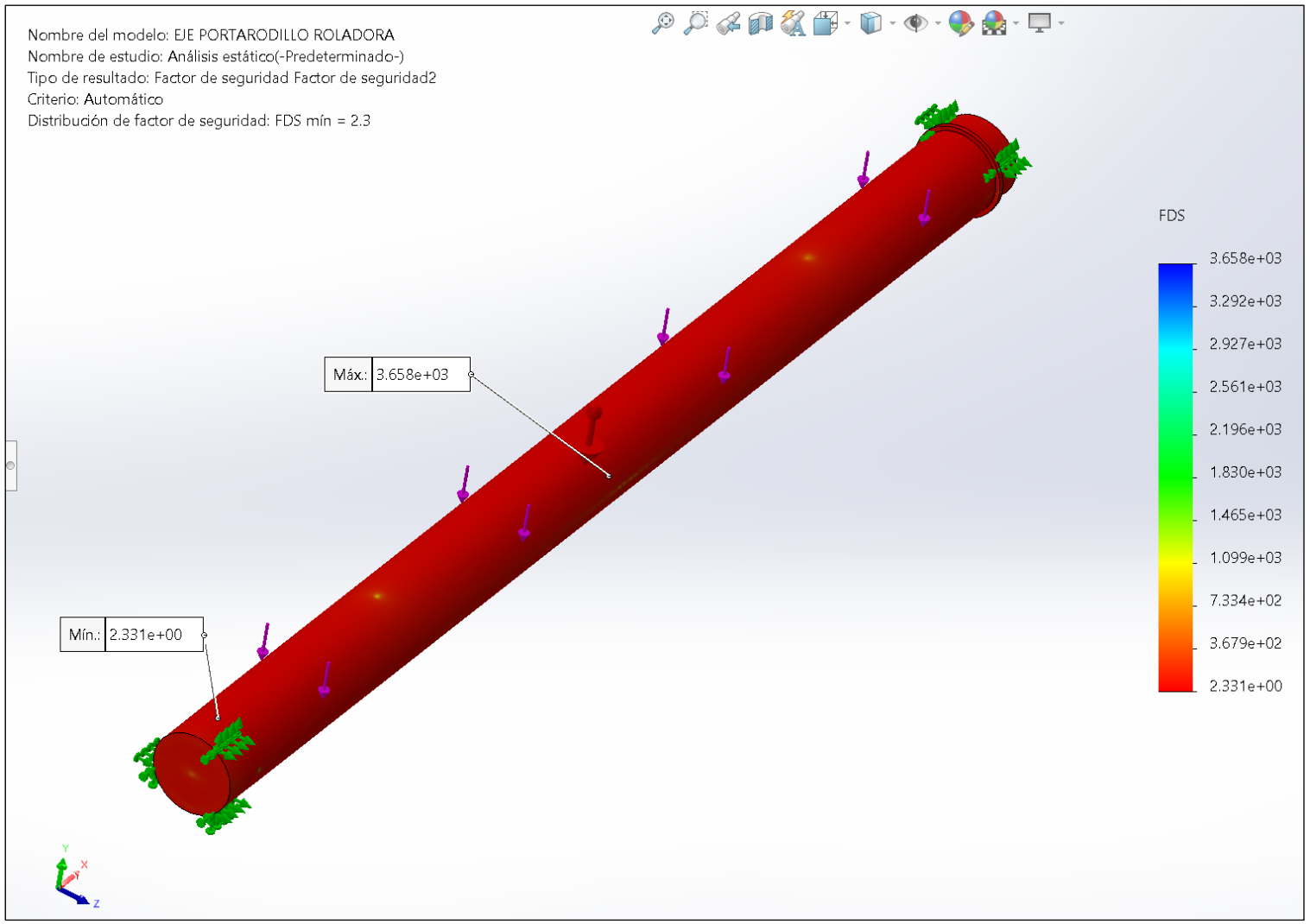


Figura 17. Factores de seguridad obtenidos en el eje del rodillo de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

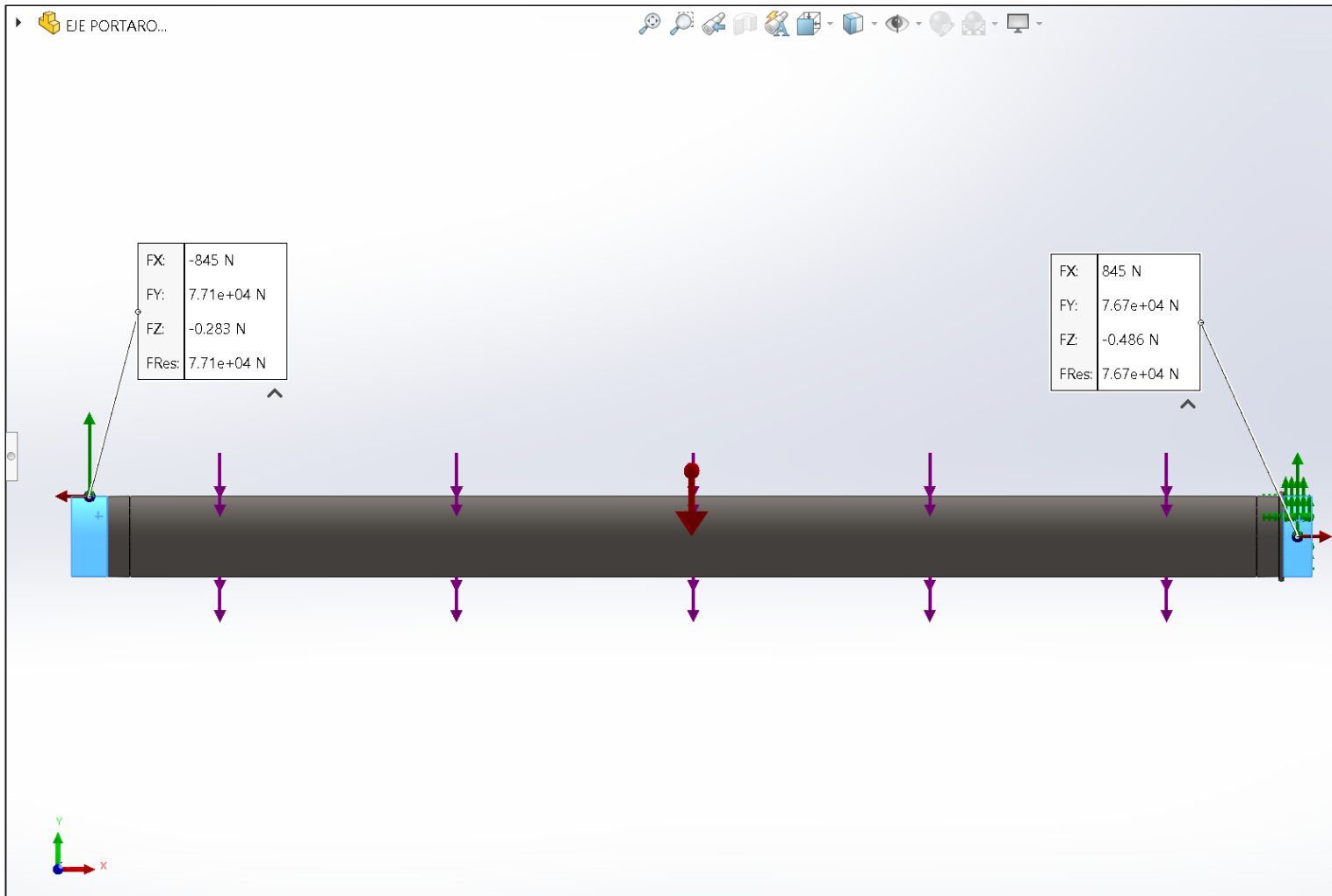


Figura 18. Reacciones generadas en los apoyos del eje del rodillo de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

Análisis estático del rodillo sin carga y un solo apoyo

Al finalizar cada proceso de rolado de la plancha, es necesario retirarla y para ello es necesario que se mueva uno de los apoyos para facilitar la extracción, por ende, el rodillo queda soportado de un extremo y donde solo actúa el peso del mismo, por lo tanto, se realizó el análisis estático en dicho extremo para corroborar que la sección circular agregada en dicho extremo es adecuada.

La Figura 19 muestra las tensiones de Von Mises que se producen en el rodillo de la máquina roladora, obteniendo un valor máximo de 14.93 MPa originado en el extremo de soporte y un valor mínimo de 106.9 Pa producido en el otro extremo libre del eje.

La Figura 20 detalla las deformaciones o desplazamientos originados en el rodillo de la máquina roladora, donde se genera una deformación máxima de 0.8972 mm en el extremo libre del rodillo.

La Figura 21 presenta los factores de seguridad obtenidos en el rodillo de la máquina roladora, obteniendo un mínimo valor cerca en el extremo de soporte siendo de 47.55 y un máximo de 6642000 en el extremo libre del rodillo. Con ello se logró demostrar que la selección del material y las dimensiones del eje para el rodillo es adecuada.

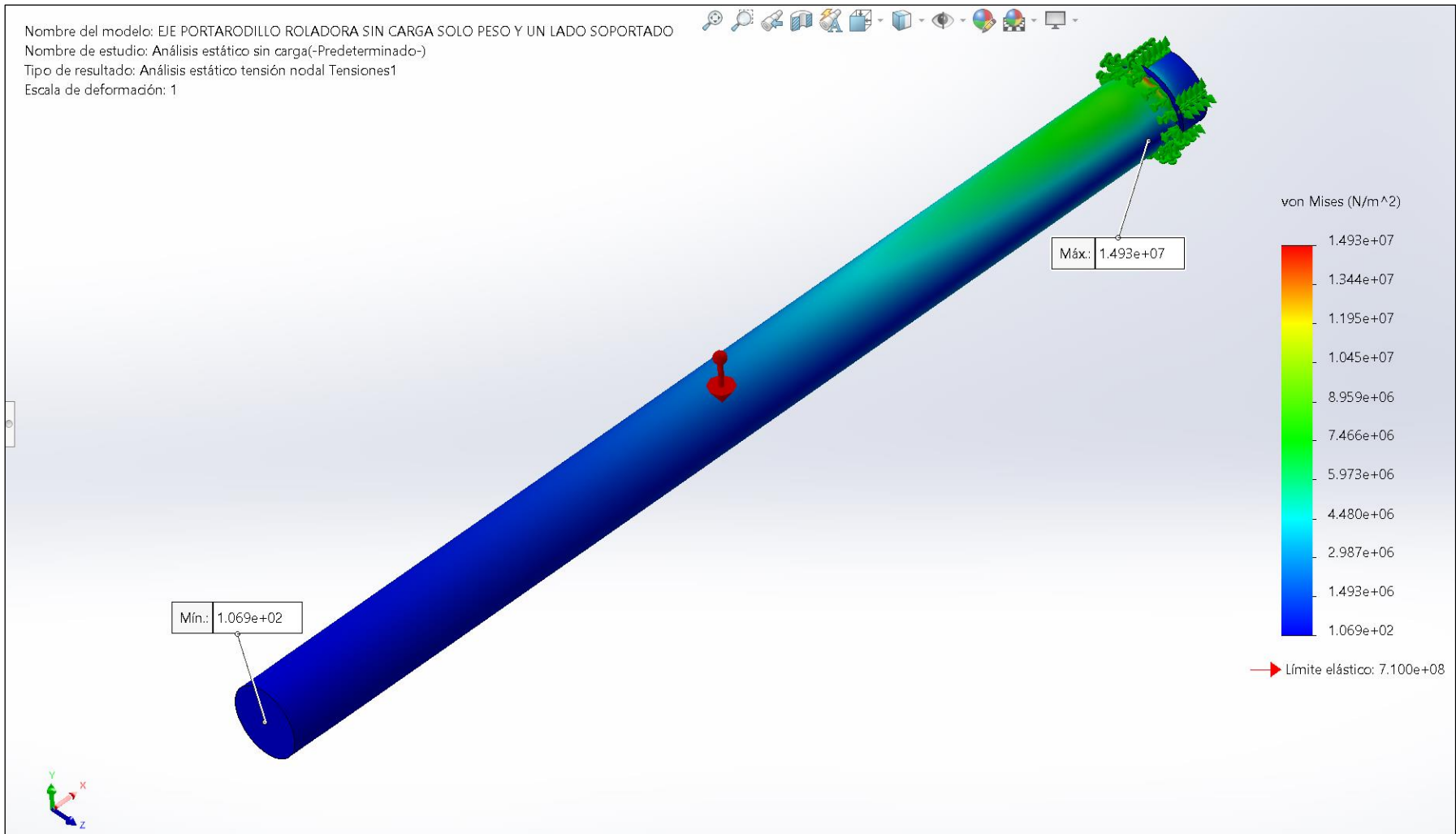


Figura 19. Tensiones de Von Mises generadas en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

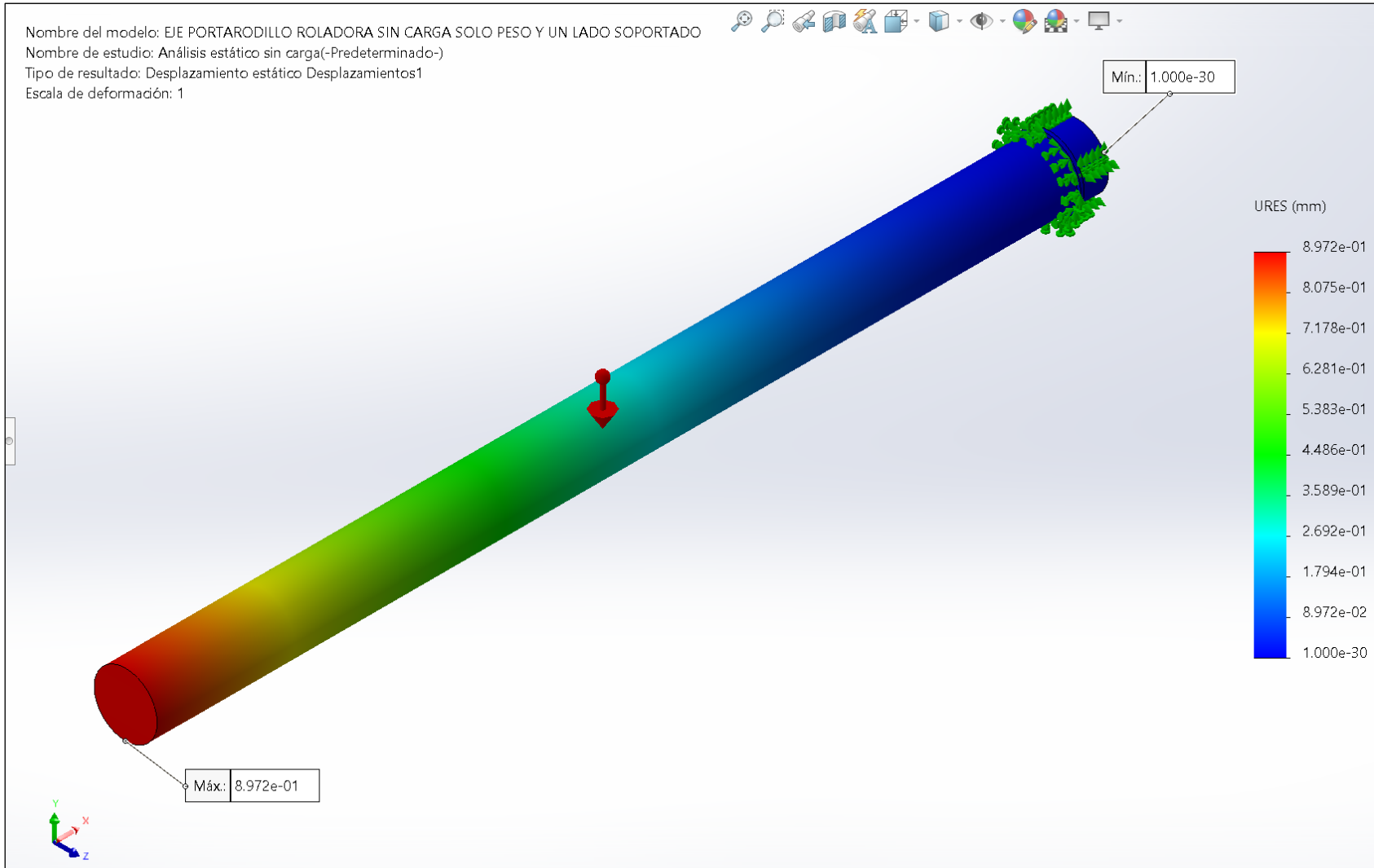


Figura 20. Deformaciones generadas en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

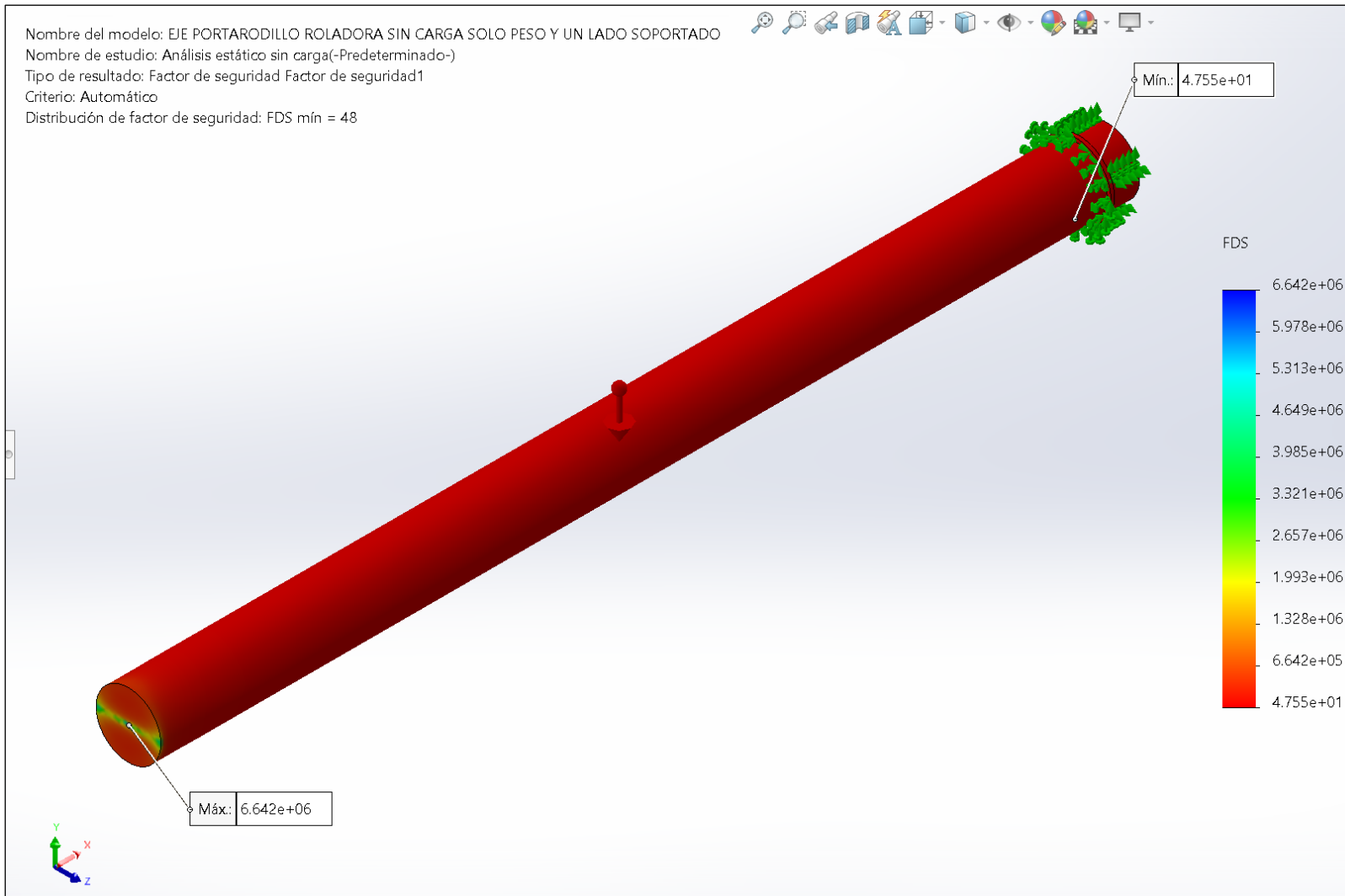


Figura 21. Factores de seguridad obtenidos en el eje del rodillo de la roladora en un solo extremo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

Análisis estático de pieza móvil para rodillo superior

Dicha pieza permite poder extraer cada plancha rolada, ya que dispone de un cilindro hidráulico de 4 toneladas para desplazarse- Para el análisis estático se empleó como material al acero AISI 1040 laminado en caliente, el mismo empleado en los rodillos. Por lo tanto, se obtuvieron los siguientes resultados:

La Figura 22 muestra las tensiones de Von Mises que se generaron en la pieza mencionada, obteniendo un valor máximo de 109.90 MPa originado en una arista lateral de la pieza y un valor mínimo de 28.82 kPa producido en un punto próximo al centro de gravedad.

La Figura 23 detalla las deformaciones o desplazamientos originados en la pieza mencionada, donde se genera una deformación máxima de 0.522 mm en el extremo superior de la pieza móvil.

La Figura 24 presenta los factores de seguridad obtenidos en la pieza móvil, obteniendo un mínimo valor en una arista lateral de la pieza con un valor de 6.46 y un máximo de 24630 en un punto cercano al centro de gravedad. Con ello se logró demostrar que la selección del material y las dimensiones de la pieza móvil es adecuada.

La Figura 25 brinda las fuerzas o reacciones generadas en los apoyos de la pieza móvil, que sirvieron para dimensionar el eje para que pueda girar en el extremo inferior y la fuerza necesaria para que pueda desplazarse empleando un pistón o cilindro hidráulico de 4 toneladas.

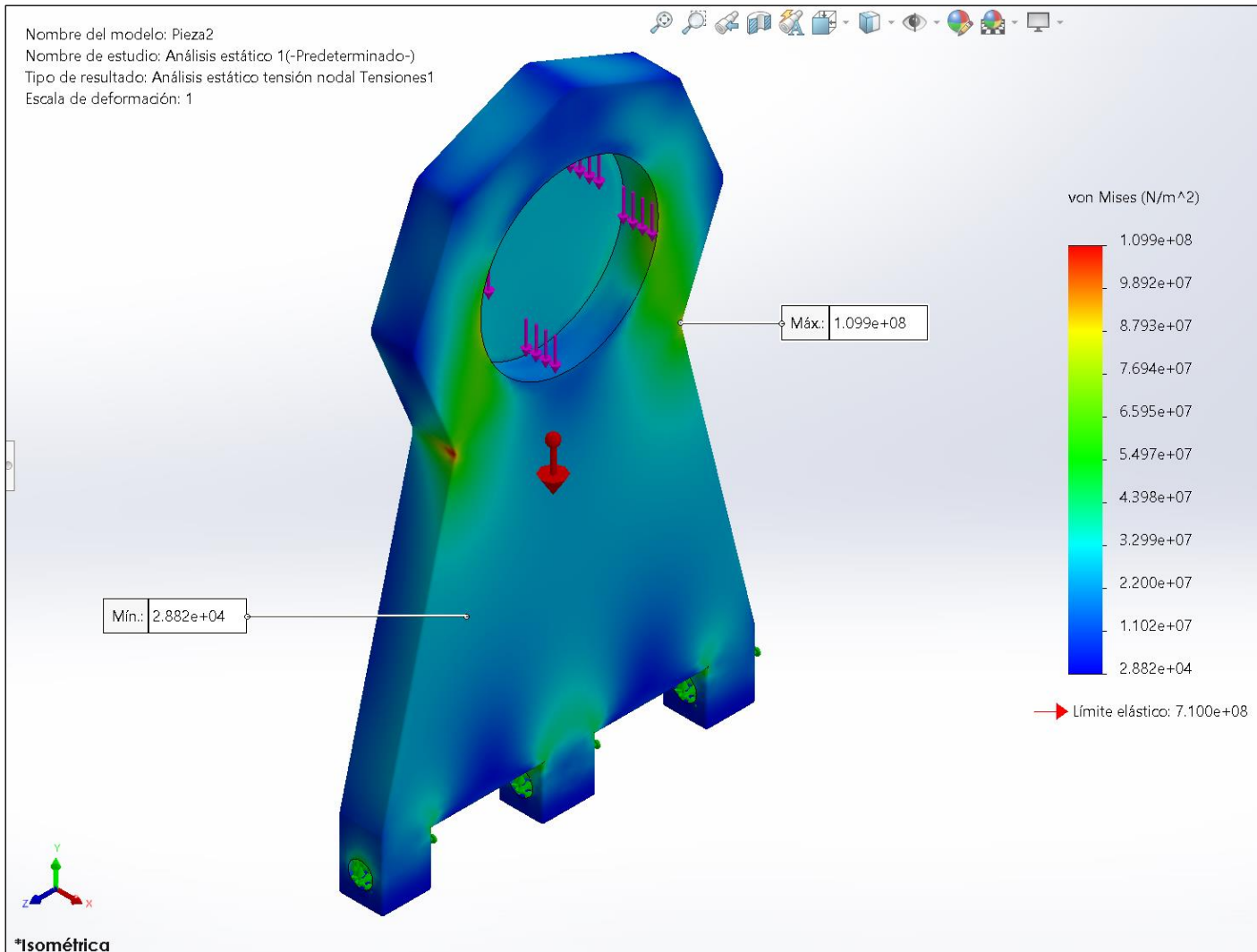


Figura 22. Tensiones de Von Mises que se generaron en la pieza móvil para rodillo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

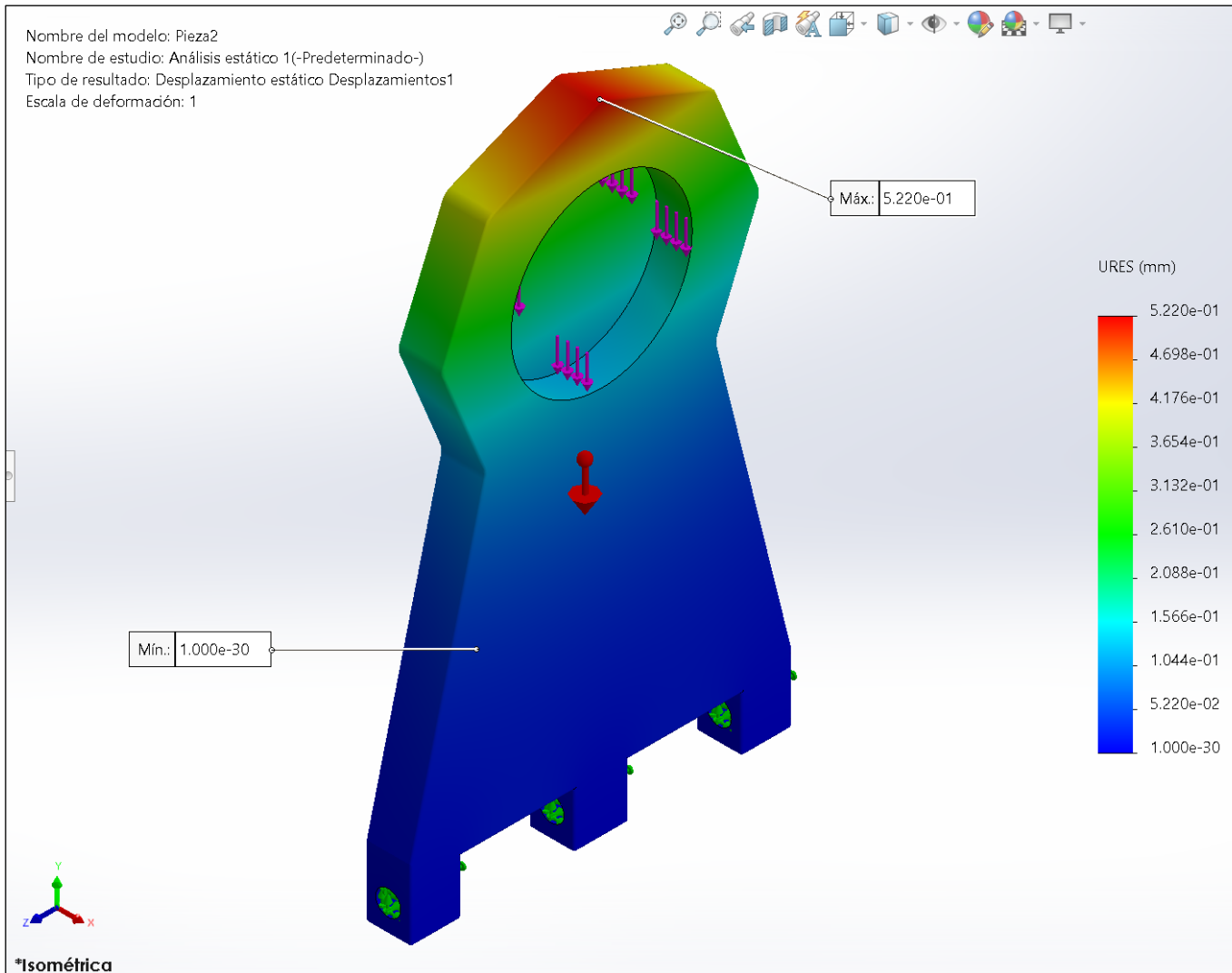


Figura 23. Desplazamientos que se generaron en la pieza móvil para rodillo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

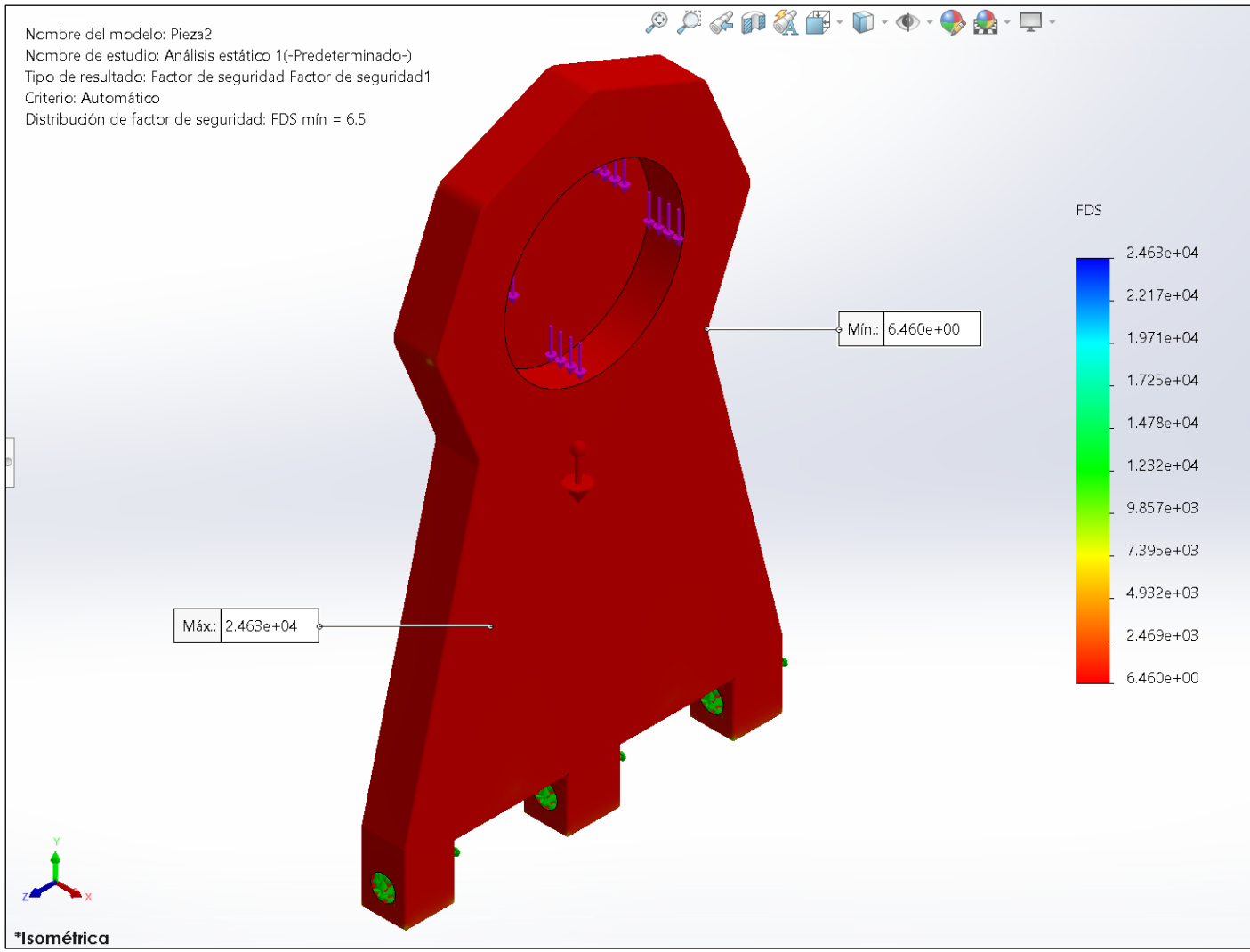


Figura 24. Factores de seguridad que se generaron en la pieza móvil para rodillo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

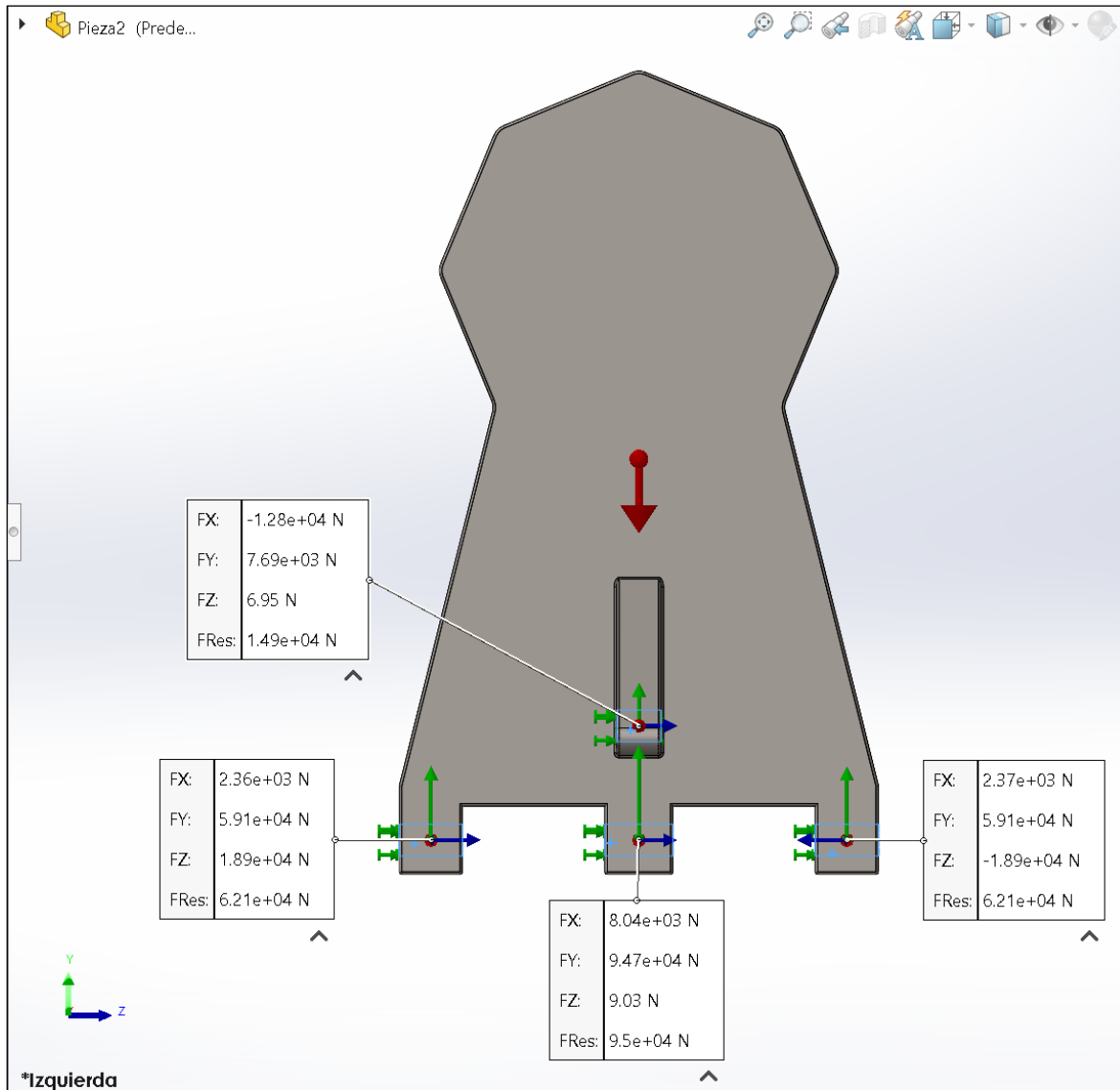


Figura 25. Fuerzas resultantes en los apoyos de la pieza móvil para rodillo.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

Análisis estático de la estructura de soporte

Para que todos los equipos y componentes como motor, cada reductora, rodillos roladores, rodamientos, pieza móvil, estructura de seguridad y engranajes para los ejes portarodillos pueda funcionar conjuntamente conformando la máquina roladora, fue necesario dimensionar una estructura que pueda soportar las fuerzas generadas debido al proceso de rolado y peso propio de los elementos mencionados y de la misma estructura, para lo cual se seleccionó como material al acero 1020 laminado en frío, por lo que se obtuvieron los resultados:

La Figura 26 brinda las tensiones de Von Mises producidos en la estructura de soporte, con un máximo valor de 159.30 MPa generado en un apoyo de los rodillos inferiores y un mínimo valor de 3.709 kPa que se generó en una viga de soporte ubicada en el lado de los rodillos inferiores, como se aprecia en la figura mencionada.

La Figura 27 brinda las deformaciones que se generaron en la estructura de soporte, obteniendo un valor máximo de 0.7963 mm originado en el extremo por donde se apoya el rodillo superior.

La Figura 28 brinda los factores de seguridad que se generaron en la estructura de soporte, obteniendo un valor mínimo de 2.197 generado en un apoyo de los rodillos inferiores y un valor máximo de 94380 generado en una viga inferior donde se ubican los rodillos inferiores.

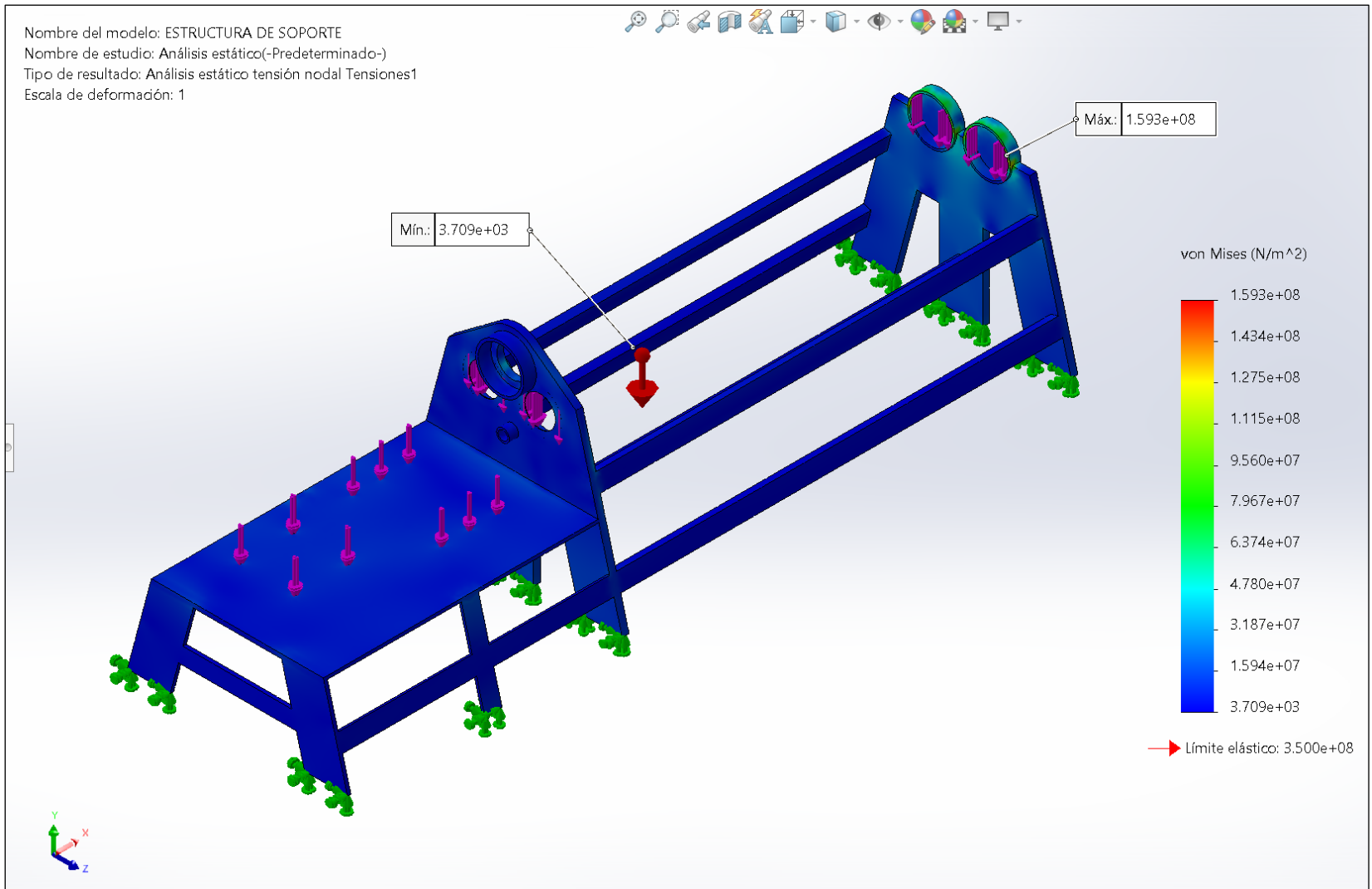


Figura 26. Tensiones de Von Mises que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

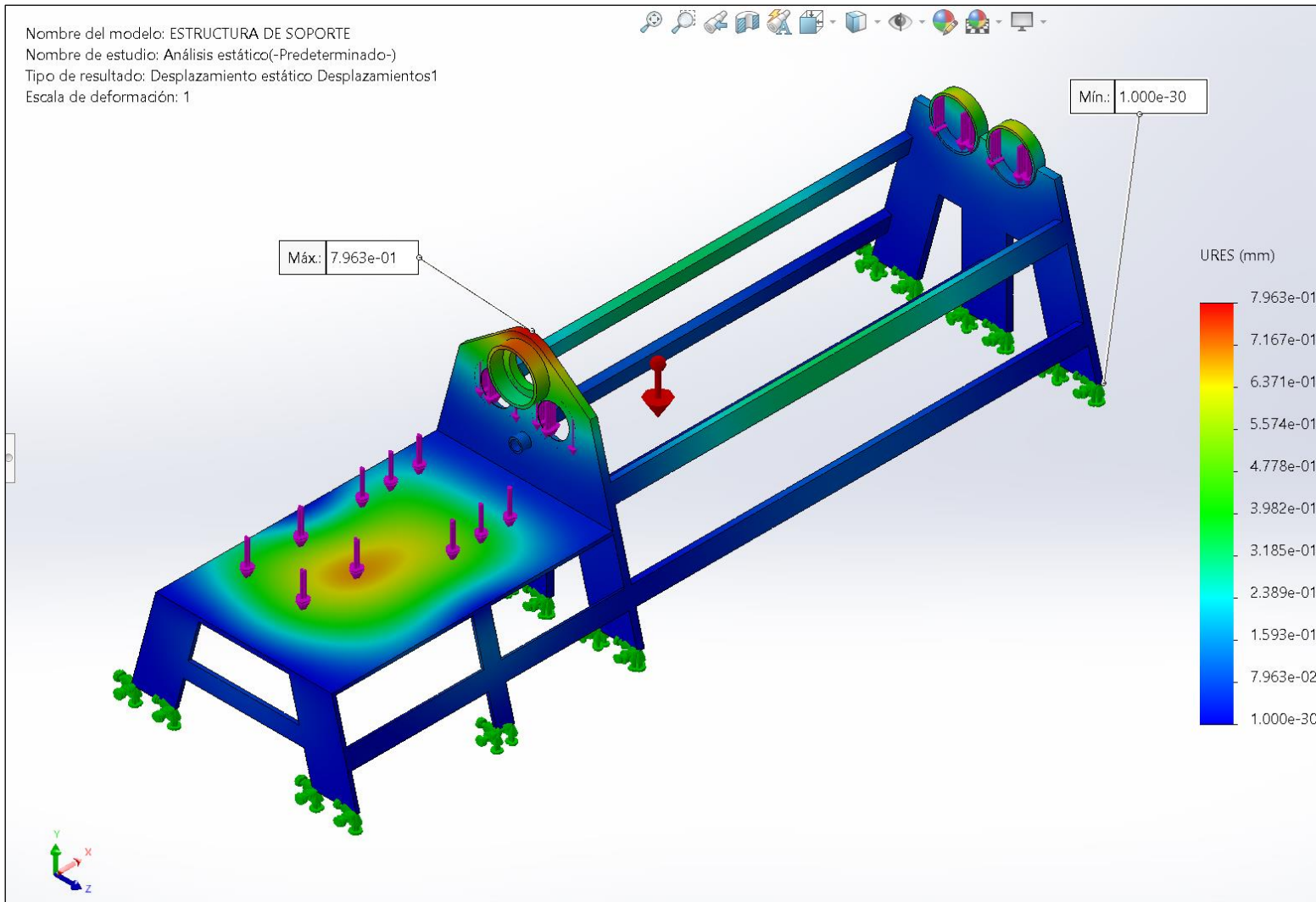


Figura 27. Deformaciones que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

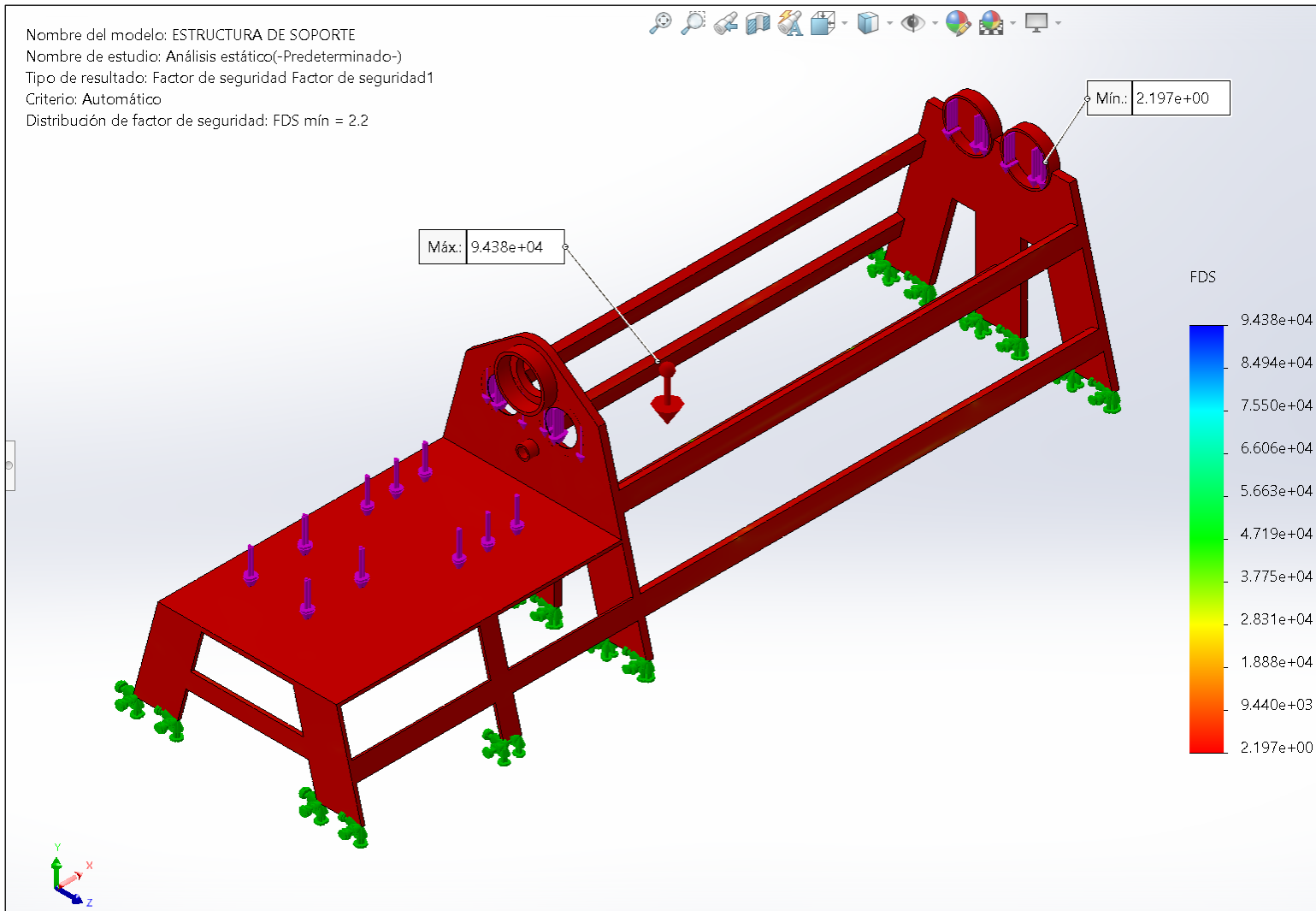


Figura 28. Factores de seguridad que se generaron en la estructura de soporte de la roladora.

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

Ensamblaje de máquina roladora

Al tener todas las piezas modeladas con sus respectivos análisis estáticos, se procedió a realizar el ensamblaje de la caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos y en ensamblaje total de la máquina roladora.

La Figura 29 muestra el ensamblaje de la caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos, donde se puede apreciar los piñones de 17 dientes y engranajes de 47 dientes con sus respectivos ejes, que permiten reducir la velocidad del motor de 1180 rpm a la velocidad requerida en los rodillos roladores de 20.19 rpm.

La Figura 30 presenta las vistas respectivas del ensamblaje total de la máquina roladora, observando la vista frontal, izquierda, superior e isométrica para una mejor comprensión de cómo está conformada y de cómo funciona.

La Figura 31 presenta el ensamblaje total de todos los componentes y equipos que forman parte de la máquina roladora, observando una vista isométrica donde se puede apreciar la ubicación de cada elemento.

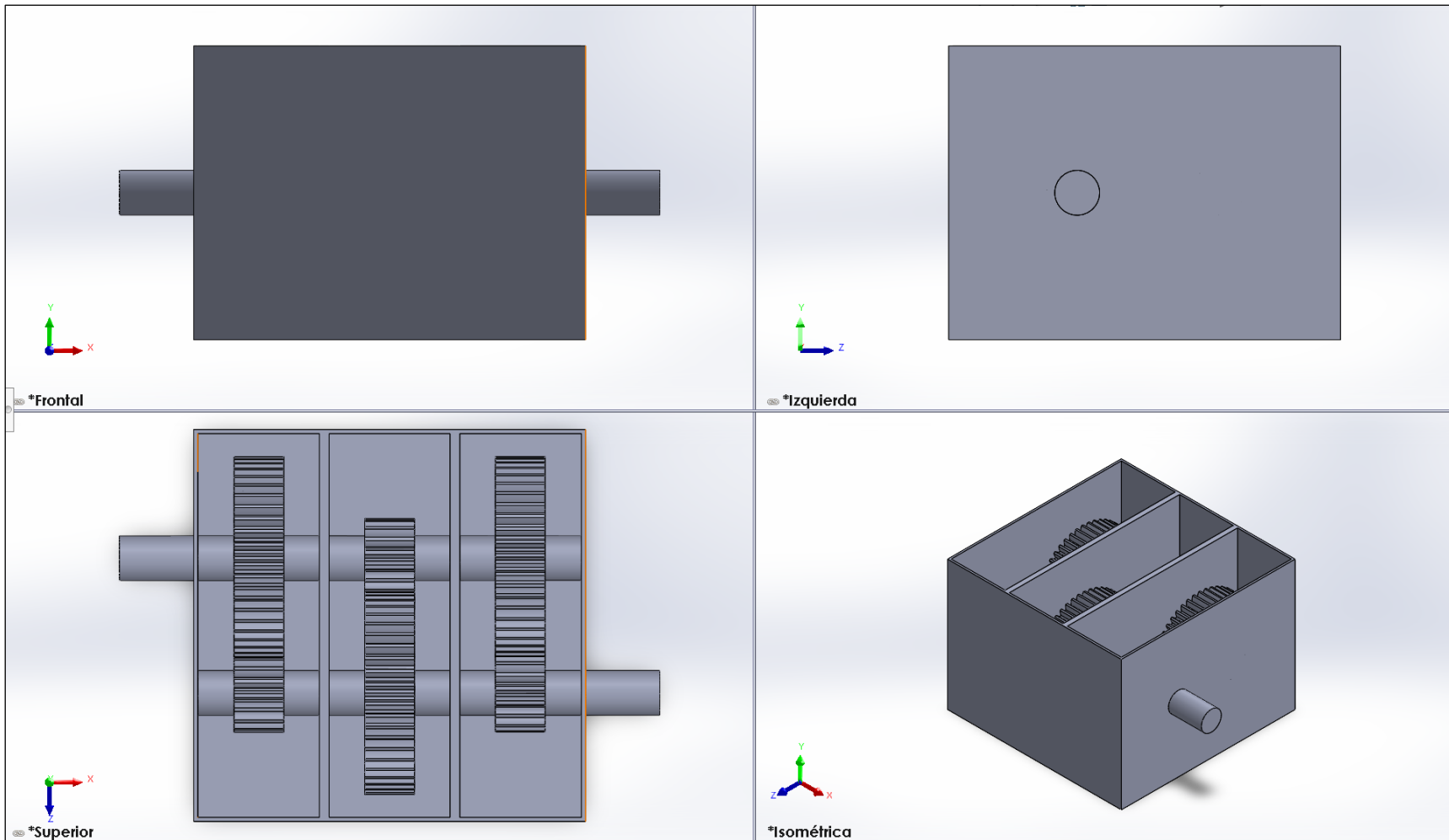


Figura 29. *Ensamblaje de la caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos.*

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

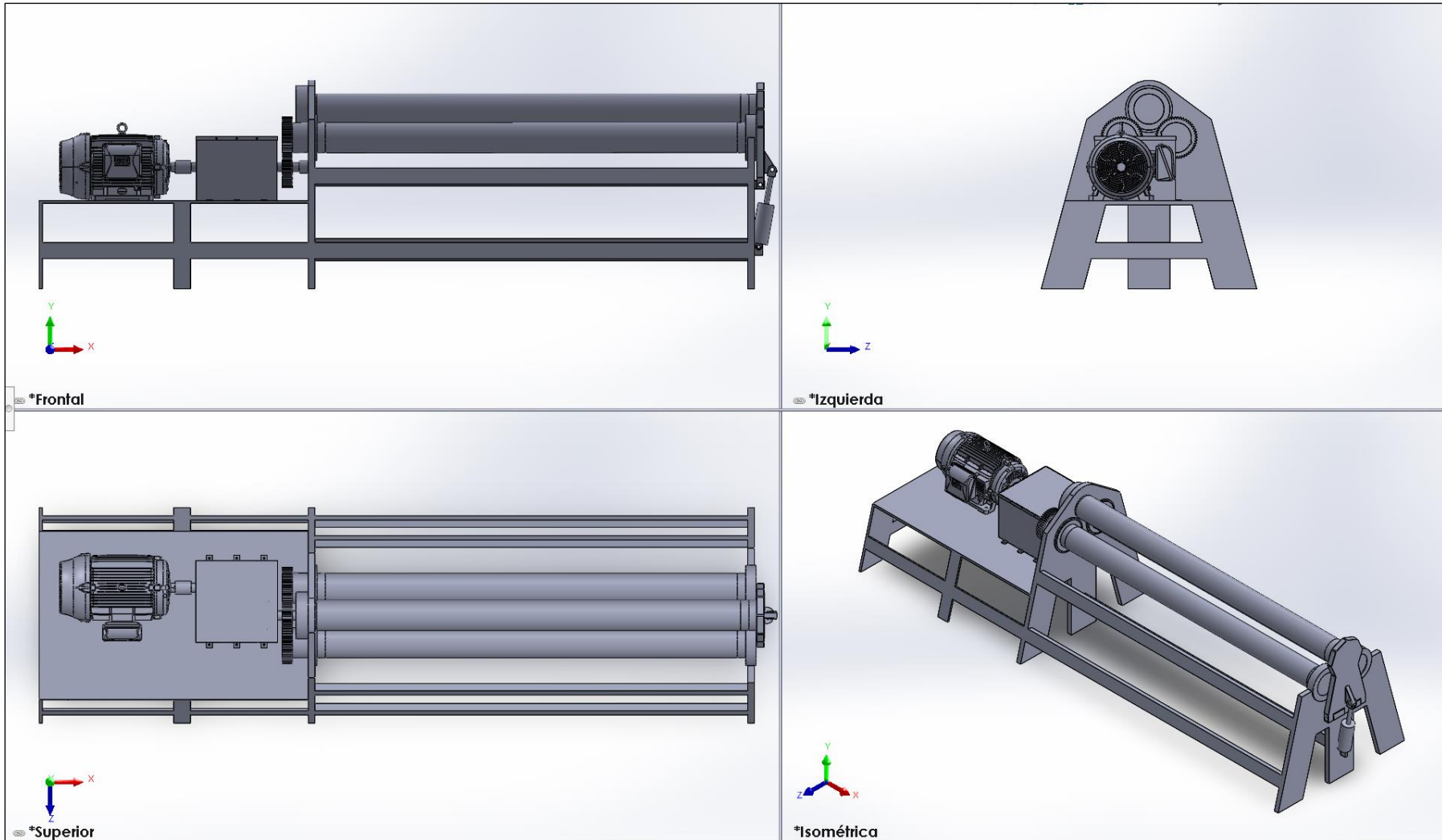


Figura 30. *Vistas respectivas del ensamblaje de la máquina roladora.*

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

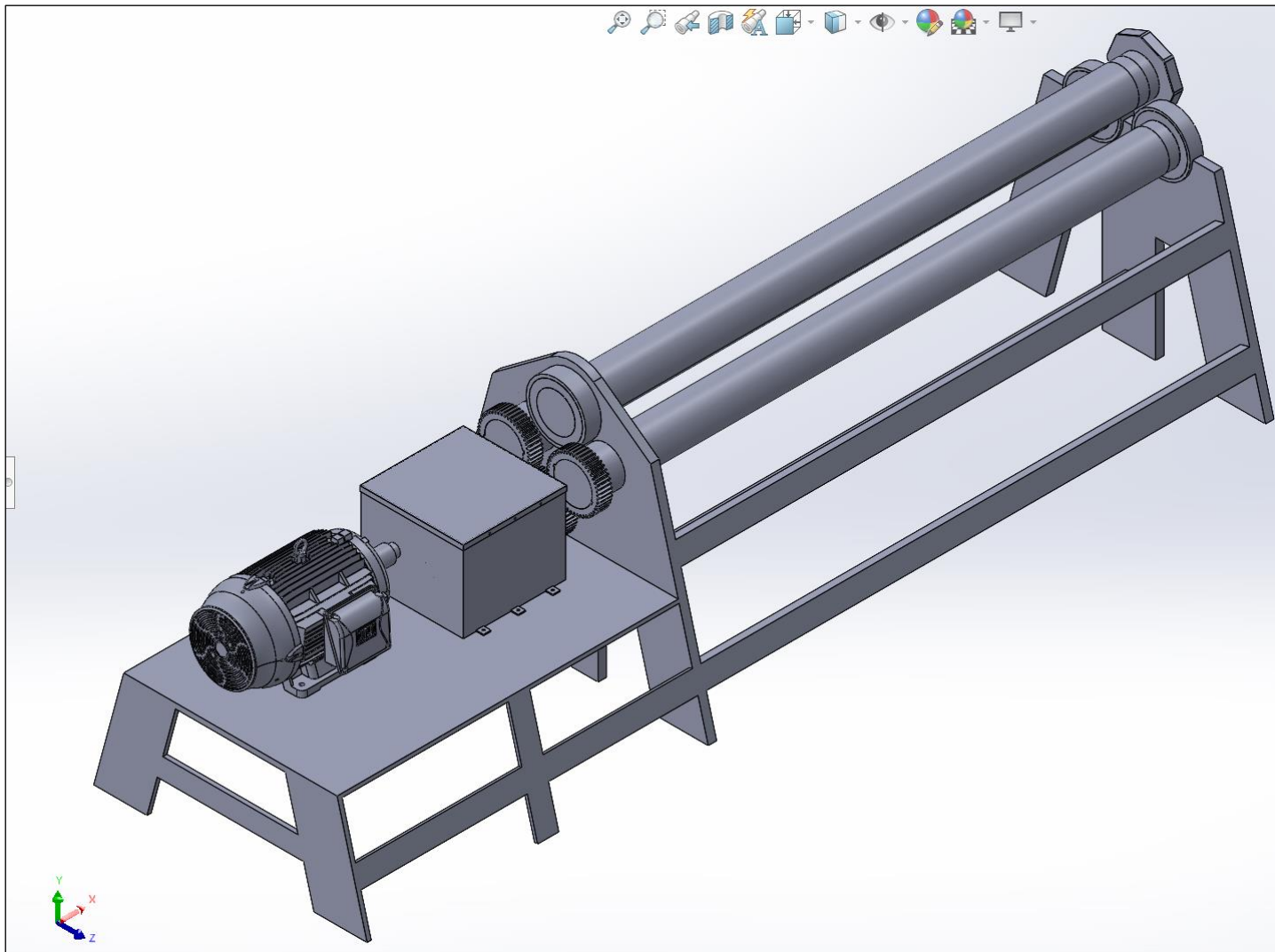


Figura 31. *Ensamblaje de los componentes para la máquina roladora.*

Fuente: Elaborado con SolidWorks 2021.

3.5. Realizar una evaluación económica empleando los indicadores VAN y TIR

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.

En la Tabla 11 se muestra la información detallada sobre los elementos que forman parte de la máquina roladora, cantidades, precios unitarios y costo total, logrando obtener una suma total de S/. 39538.81 tomando en cuenta el IGV, costo de ensamblaje y puesta en marcha e imprevistos.

La Tabla 12 muestra el detalle del análisis de rentabilidad para la máquina roladora, es decir, se aprecia el flujo de caja donde se tuvo en cuenta la inversión inicial además de los ahorros obtenidos por mano de obra de terceros, costo por gasto de energía además de costos de operación y mantenimiento por año. El ahorro obtenido por mano de obra de terceros implica lo que la empresa metalmecánica ya no gastará por tercerizar el proceso de rolado, considerando que son 4 veces por mes que se solicita el servicio, con un costo de S/. 1950.00 semanal, se obtiene un ahorro anual de S/. 93600.00, el costo por concepto de energía es de S/. 18624.00, tomando en cuenta que la máquina trabaja 8 horas por día durante 320 días al año con una potencia de 30 kW, se obtiene un consumo de energía de 76800 kWh por año, con un costo por kWh de S/. 0.2425. El costo de operación es de S/. 35000.00 considerando un operario a S/. 2500.00 mensuales y los 14 sueldos que recibe al año, además del mantenimiento que aproximadamente de S/. 3500.00 anuales, entonces el costo de operación y mantenimiento es de S/. 38500.00. Finalmente, al realizar el análisis de los indicadores empleando el software Microsoft Excel 2021, se obtuvo un VAN de S/. 153744.28, con una TIR de 58.21% y un periodo para recuperar la inversión de 1.88 años.

Tabla 11. *Presupuesto estimado para la fabricación de la máquina roladora.*

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Rodillo superior en acero AISI 1040 laminado en caliente	1	S/. 2288.14	S/. 2288.14
Rodillo inferior en acero AISI 1040 laminado en caliente	2	S/. 2288.14	S/. 4576.28
Motor WEG W22Xec de 30 kW	1	S/. 5932.20	S/. 5932.20
Pieza móvil para rodillo superior en acero 1040 laminado en caliente	1	S/. 550.85	S/. 550.85
Cilindro hidráulico para pieza móvil	1	S/. 338.98	S/. 338.98
Caja portaengranajes de dientes rectos	1	S/. 1525.42	S/. 1525.42
Engranaje de 47 dientes en acero AISI 4140 grado 2	2	S/. 296.61	S/. 593.22
Base de soporte para roladora en acero AISI 1020 laminado en frío	1	S/. 3813.56	S/. 3813.56
Estructura de seguridad para elementos móviles	1	S/. 762.71	S/. 762.71
Rodamientos SKF T4DB 180	5	S/. 677.97	S/. 3389.85
Cable INDECO NH-90 de 16 mm ²	1	S/. 932.20	S/. 932.20
Interruptor termomagnético Chint de 3x63A	1	S/. 75.37	S/. 75.37
Guardamotor + contactor + relé térmico marca Chint	1	S/. 423.73	S/. 423.73
Tablero para sistema eléctrico + Accesorios	1	S/. 254.24	S/. 254.24
Accesorios (pernos, conectores, tuercas, etcétera)	1	S/. 127.12	S/. 127.12
Subtotal sin IGV			S/. 25083.87
IGV (18% del subtotal)			S/. 4515.10
Subtotal incluyendo IGV			S/. 29598.97
Costo de ensamblaje y Puesta en marcha			S/. 5500.00
Costo por imprevistos (15%)			S/. 4439.84
Costo Total			S/. 39538.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. *Flujo de caja del análisis económico para la máquina roladora.*

Año	Ahorro por mano de terceros	Costo por gasto de energía	Costo de operación y mantenimiento	Ingreso Bruto	Impuesto a la renta (30%)	Ingreso anual neto	Ingreso anual neto Actualizado
2025						-S/. 39,538.81	
2026	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 29,330.00	S/. 26,663.64
2027	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 28,201.92	S/. 23,307.37
2028	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 27,117.23	S/. 20,373.58
2029	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 26,074.26	S/. 17,809.07
2030	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 25,071.41	S/. 15,567.37
2031	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 24,107.12	S/. 13,607.84
2032	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 23,179.93	S/. 11,894.97
2033	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 22,288.39	S/. 10,397.70
2034	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 21,431.14	S/. 9,088.90
2035	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 20,606.87	S/. 7,944.84
2036	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 19,814.30	S/. 6,944.79
2037	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 19,052.21	S/. 6,070.62
2038	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 18,319.43	S/. 5,306.49
2039	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 17,614.84	S/. 4,638.54
2040	S/ 70,200.00	S/ 18,624.00	S/ 8,000.00	S/ 43,576.00	S/ 13,072.80	S/ 16,937.34	S/. 4,054.67

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, respecto al proceso productivo actual de la empresa metalmecánica, se requiere de 170 horas considerando desde el diseño de ingeniería hasta los trabajos de acabado, que al analizar el proceso de rolado realizado por terceros, tuvo una duración de 26 horas con un costo estimado de S/. 1950.00 por trabajo. De acuerdo Andrade et al. (2019), es importante determinar el tiempo de producción para realizar y completar un proceso, tarea, actividad o suceso determinado, con la finalidad de poder saber en cuanto tiempo se podrá entregar un trabajo determinado, además de estimar los costos asociados a dichos tiempos, ya que es un indicador indispensable al momento de realizar una cotización. Logrando tener coherencia con lo mencionado por Chasiluisa (2019), porque realizar un estudio de tiempos y movimientos es altamente importante, ya que representa un instrumento infaltable para el buen funcionamiento de las empresas o la industria dentro de la ingeniería de métodos, y debido a su importancia, ha venido mejorándose desde 1920. También tiene concordancia con lo dicho por Cuevas et al. (2020), donde mencionaron que es importante realizar un estudio o análisis de tiempos, ya que permiten que se logre medir el trabajo, registrando los tiempos y ritmos de trabajo que corresponden a los procesos de una actividad determinada, detallando los pasos a seguir con sus respectivos tiempos que conlleva realizarlos, y que, por ende, viene acompañado por los costos involucrados.

Con respecto a los parámetros de diseño de la máquina roladora se consideraron al espesor máximo de 9 mm, con un nivel de tensión disponible en las instalaciones de la empresa de 220 V monofásico y 380 V trifásico, con un largo de la plancha de 6 m, ancho de 2.4 m, además de un esfuerzo de fluencia de 272.50 MPa para la plancha a rolar, velocidad de rotación de los rodillos de 20 rpm y una vida útil estimada de 51200 horas para 20 años. Dichos resultados logran coincidir con los de García (2019), donde diseñaron una máquina roladora con capacidad para rolar planchas metálicas comerciales de 1.2 m x 2.4 m y un máximo espesor de 5.9 mm, además de tubos con diámetro máximo de 3 pulgadas con un espesor mínimo de 1.8 mm y máximo de 2.5 mm, además logró corroborar que la vida útil de los

rodamientos fue de 16168 horas para el perteneciente al rodillo superior y de 15413 horas para el perteneciente al rodillo inferior. De igual modo concuerdan con los de Menoscabal & Villacis (2021), porque diseñaron una máquina roladora con tres rodillos que fueron movidos por un sistema de transmisión de engranajes, donde estuvo conformada por un sistema de control y fuerza, además de un mecanismo hidráulico para los rodillos, logrando rolar perfiles en T, platinas y ángulos. También logran concordar con los resultados de Heryana et al. (2021), ya que emplearon como parámetro de diseño tuberías de cobre con un diámetro de hasta 3/8 pulgadas, además del esfuerzo del material con que se fabricaron los tubos, espesor y otros parámetros como el voltaje, largo de los tubos, que permitieron realizar un adecuado diseño de la máquina roladora propuesta. Adicionalmente, concuerdan con los datos obtenidos por Llive & Imbaquingo (2020), logrando utilizar como parámetro de diseño al espesor máximo de 3 mm y un ancho máximo de 40 mm para la roladora que propusieron. Tienen coherencia con los resultados obtenidos por Yigang et al. (2023), empleando como parámetro una roladora de cuatro rodillos, teniendo en consideración al espesor máximo del material a rolar, además de la longitud, logrando obtener una buena precisión de control y tiempo de respuesta más rápido. Concordando con lo mencionado por Rodas (2022), indicando que son datos importantes que permiten examinar, calcular y analizar un tema, cuestión o asunto específico, y que es importante cuando se requiere realizar un diseño adecuado, teniendo coherencia con lo indicado por Acosta (2022), que definió un parámetro de diseño como aquel dato que es considerado importante e imprescindible que permiten evaluar o valorar una determinada situación.

Considerando los elementos de máquina que conforman la roladora son un rodillo superior de 180 mm de diámetro, dos rodillos inferiores de 180 mm de diámetro con diferente configuración de acuerdo con los planos, un motor trifásico con una potencia de 30 kW, un sistema de transmisión conformado por una caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos con un total de 3 etapas de reducción, además de una estructura de soporte que pueda albergar todos los elementos antes mencionados. Dicha información concuerda con Ramírez (2022), ya que la muestra se conformó por una roladora hidráulica de perfiles de tres rodillos, además de un cilindro hidráulico, válvula direccional, válvula para control

de flujo, bomba hidráulica, manómetro, válvula reguladora de presión, mangueras de presión, motor eléctrico y filtro de succión, que permitieron conformar la máquina roladora y poder efectuar el proceso requerido de rolado de modo satisfactorio. Se logra tener coherencia con lo definido por Estrada (2023), que mencionó que el proceso de rolado es la operación donde el material es forzado para adoptar una nueva forma, que se genera debido al movimiento, donde dichos movimientos permiten realizar el estirado y contraído de las longitudes en los tres ejes dimensionales, y que la forma requerida tiene bastante dependencia de los movimientos antes mencionados.

Considerando la simulación efectuada con el software SolidWorks 2021, al realizar los respectivos análisis estáticos se obtuvo un factor de seguridad de 2.331 para el rodillo superior con carga, de 47.55 sin carga y con un apoyo, para la pieza móvil fue de 6.46 y para la estructura de soporte fue de 2.197, demostrando que las medidas y materiales empleados brindan la seguridad de que la máquina fue diseñada adecuadamente. Teniendo coherencia con lo obtenido en la investigación de García (2019), ya que empleó el software Solidworks 2013, donde los análisis estáticos arrojaron valores de 3.49 para el rodillo superior, de 3.57 para el rodillo inferior, siendo bastante superiores a la unidad, brindando la seguridad que su diseño y dimensionamiento es adecuado. De igual manera concuerdan los valores obtenidos por Ramírez (2022), que del análisis estático obtuvieron un factor de seguridad mínimo de 1.98 para la estructura soporte, de 8.8 para la estructura de accionamiento de fuerza hidráulica y de 2.6 para el eje del cilindro.

Finalmente, tomando en cuenta el presupuesto que conlleva fabricar la máquina roladora que fue de S/. 39538.81, y al efectuar el análisis de los indicadores de rentabilidad, se obtuvo un valor del VAN de S/. 153744.28, con una TIR de 58.21% y un periodo de recuperación de la inversión de 1.88 años. Dicha información tiene coherencia con lo obtenido por Menoscabal & Villacis (2021), donde obtuvieron que el costo de implementar la máquina roladora fue de \$5956.23 equivalente a moneda nacional de S/. 22633.67, siendo un valor menor debido a que la capacidad era menor. También concuerda con los resultados de Ramírez (2022), ya que logró obtener un VAN de S/. 26076.34, una TIR de 70%, logrando demostrar que el

proyecto es altamente rentable, ya que dichos valores son bastante elevados en comparación con la inversión inicial y la tasa de descuento empleada para el análisis de rentabilidad. Demostrándose lo importante del uso de los indicadores de rentabilidad, siendo herramientas poderosas para evaluar la salud o estado de la empresa o proyecto, de acuerdo con lo mencionado por Marchena (2023). También, se logra demostrar lo mencionado por León (2023), que los indicadores de rentabilidad se emplean para analizar un proyecto de inversión, donde se aplica el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo para la recuperación de la inversión inicial o Payback.

V. CONCLUSIONES

- El proceso productivo actual de la empresa requiere de 170 horas aproximadamente, desde el diseño de ingeniería hasta los trabajos de acabado, donde el tiempo del proceso de rolado tiene una duración 26 horas realizado por terceros con un costo de S/. 1950.00 por trabajo.
- Entre los parámetros de diseño de la máquina roladora se consideraron al espesor máximo de 9 mm, con un nivel de tensión disponible en las instalaciones de la empresa de 220 V monofásico y 380 V trifásico, con un largo de la plancha de 6 m, un ancho de 2.4 m, además de un esfuerzo de fluencia de 272.50 MPa para la plancha a rolar, velocidad de rotación de los rodillos de 20 rpm y una vida útil estimada de 51200 horas para 20 años.
- Los elementos de máquina que conforman la roladora son un rodillo superior de 180 mm de diámetro, dos rodillos inferiores de 180 mm de diámetro con diferente configuración de acuerdo con los planos, un motor trifásico con una potencia de 30 kW, un sistema de transmisión conformado por una caja reductora de velocidad con engranajes de dientes rectos con un total de 3 etapas de reducción, además de una estructura de soporte que pueda albergar todos los elementos antes mencionados.
- De la simulación efectuada con el software SolidWorks 2021, al efectuar los respectivos análisis estáticos se obtuvo un factor de seguridad de 2.331 para el rodillo superior con carga, de 47.55 sin carga y con un apoyo, para la pieza móvil fue de 6.46 y para la estructura de soporte fue de 2.197, demostrando que las medidas y materiales empleados brindan la seguridad de que la máquina fue diseñada adecuadamente.
- El presupuesto que conlleva fabricar la máquina roladora fue de S/. 39538.81, que, al efectuar el análisis de los indicadores de rentabilidad, se obtuvo un valor del VAN de S/. 153744.28, con una TIR de 58.21% y un periodo de recuperación de la inversión de 1.88 años.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis más detallado sobre el proceso productivo y sus costos, ya que ello demandaría más tiempo y se contó con el tiempo limitado, pudiendo realizarse en una futura investigación.
- Se puede emplear otro espesor y largo de la plancha, además de otro tipo de material, para determinar si la rentabilidad mejora al aumentar la capacidad o se reduce al disminuir la capacidad o si se mantiene constante sin importar la capacidad.
- Se recomienda emplear otro software de diseño mecánico como ANSYS, Inventor, entre otros, para efectuar un análisis comparativo entre los esfuerzos obtenidos, deformaciones y factores de seguridad, de modo que se corrobore que los datos obtenidos son adecuados.
- Se recomienda realizar un análisis de rentabilidad tomando en cuenta el tiempo de cuando se lleva a cabo, es decir, que los valores de la tasa de descuento, la inflación, costo de energía, costo de operación y mantenimiento cambian, y por ende, el análisis de rentabilidad será distinto si se toman esas consideraciones para que se asemeje a la realidad.

REFERENCIAS

ACOSTA, Edgar. Diseño de un mecanismo triturador para reducir el volumen de transporte de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado - Chiclayo. s.l.: Repositorio de la Universidad César Vallejo, 2022.

Disponible en

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/117853>.

ALILOU, Parviz, REZA, Hamid and BADI, Ali. Studying the Effective Factors in Brand Value Creation from the Perspective of Customers, Organizations and Stakeholders (Case study: Iranian Textile Industry). 4, 2021, Journal of System Management, Vol. 7, pp. 23-47.

Disponible en

https://sjsm.shiraz.iau.ir/article_687261.html.

ANDRADE, Adrián, DEL RÍO, César y ALVEAR, Daissy. Estudio de tiempos y movimientos para incrementar la eficiencia en una empresa de producción de calzado. 3, 2019, Información Tecnológico, Vol. 30, págs. 83-94.

Disponible en

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642019000300083&lng=pt&nrm=iso.

BRUSSET, Xavier and BERTRAND, Jean. Hedging weather risk and coordinating supply chains. 2018, Journal of Operations Management, Vol. 64, pp. 41-52.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272696318300718>.

CABALLERO, A, et al. Development and Application of Kanban and Milk-Run in Production Process of a Metalworking Company. 2019, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 1250-1254.

Disponible en <https://cris.ulima.edu.pe/es/publications/development-and-application-of-kanban-and-milk-run-in-production->.

CARRANZA, Irma, et al. Improvement Model Based on Four Lean Manufacturing Techniques to Increase Productivity in a Metalworking Company. 2021, ACM International Conference Proceeding Series, pp. 95-99.

Disponible en <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653540>.

CHASILUISA, Luis. Estudio de tiempos y movimientos en el área de confección para mejoramiento de los procesos productivos de la empresa IMPACTEX. s.l.: Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato, 2019.

Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30078>.

CUEVAS, Cecilia, et al. Importancia de un estudio de tiempos y movimientos. 39, 2020, Inventio, Vol. 16, págs. 1-6.

Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8076979>.

DEL ROSARIO, Luis, et al. A production process efficiency improvement model at a MSME peruvian metalworking company. 1, 2023, AIP Conference Proceedings, Vol. 2613, pp. 1-7.

Disponible en <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667610>.

DIAS, José, et al. Analysis of An Order Fulfilment Process at A Metalwork Company Using Different Lean Methodologies. 2019, Procedia Manufacturing, Vol. 41, pp. 399-406.

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919311126>.

DONG, Kwak, YOUNG, Seo and MASON, Robert. Investigating the relationship between supply chain innovation, risk management capabilities and competitive advantage in global supply chains. 1, 2018, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 38, pp. 2-21.

Disponible en https://pure.coventry.ac.uk/ws/portalfiles/portal/13866489/Kwak_Seo_and

[Mason IJOPM PURE .pdf.](#)

ESPINOZA, Anelit, et al. Production Model for the Reduction of Order Delivery Time in a Peruvian Metalworking Company Based on the Six Sigma DMAIC Methodology. 2020, International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies, Vol. 1253, pp. 606-611.

Disponible en

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656015?show=full>.

ESTRADA, Jean. Diseño de una roladora mecánica. s.l.: Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo, 2023.

GARCÍA, Franz. Diseño de una máquina roladora para el distrito de Pichanaki. s.l.: Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

Disponible en

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_320f22707a207db14715bf3e5947fe1b/Details.

GIL, Santiago. Automatización de una máquina roladora de lámina para cortina metálica en la empresa Portones y Sistemas Automáticos Barth S.A. s.l. : Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022.

Disponible en

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13908/TF9197_BIB305265_Santiago_SanGil_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

HERNÁNDEZ, Roberto y MENDOZA, Christian. Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativamente, cualitativa y mixta. s.l.: Mc Graw Hill Education, 2018.

Disponible en

<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>.

HERYANA, Ghany, et al. Rolling Machine Design for Flattening Copper Pipe - Case Study 3/8 Inch Diameter of Pipe. 5, 2021, Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, Vol. 44, pp. 371-380.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/351765461_Rolling_Machine_Design_For_Flattening_Copper_Pipe_-_Case_Study_38_Inch_Diameter_Of_Pipe.

HUARI, Josué. Diseño de una máquina dobladora de estribos y roladora de platinas. s.l.: Repositorio de la Universidad Continental, 2020.

Disponible en

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9340>.

LEÓN, Alex. Propuesta de mejora en la gestión financiera para aumentar la rentabilidad de una empresa farmacéutica, Trujillo 2023. s.l.: Repositorio de la Universidad Privada del Norte, 2023.

Disponible en

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33408>.

LI, Rongshan and LU, Yu. Research on the over-outsourcing in aviation manufacturing industry— Case analysis based on the boeing 787. 2020, WSEAS TRANSACTIONS on BUSINESS and ECONOMICS, Vol. 17, pp. 505-513.

Disponible en

<https://www.wseas.org/multimedia/journals/economics/2020/a985107-070.pdf>.

LIU, Haoyuan, et al. Design of three-roll bending machine tool and research on compensation algorithm. 9, 2023, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 15, pp. 1-12.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/374068982_Design_of_three-roll_bending_machine_tool_and_research_on_compensation_algorithm.

LLIVE, Brando y IMBAQUINGO, Klever. Diseño y construcción de una roladora semiautomática para elementos esbeltos estructurales para la

metalmecánica de San Bartolo. s.l.: Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional, 2020.

Disponible en

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21402>.

MARCHENA, Omar. Los ratios financieros y su relación con la rentabilidad en una empresa de maquinaria pesada. 1, 2023, Escritos Contables y de Administración, Vol. 14, págs. 39-65.

Disponible en

<https://revistas.uns.edu.ar/eca/article/view/3576>.

MENOSCABAL, Fernando y VILLACIS, Kevin. Diseño y construcción de una máquina roladora hidráulica de perfiles en la empresa "Agroindustrias Montenegro". s.l.: Repositorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2021.

Disponible en

<https://repositorio.uteq.edu.ec/items/b1f361a7-ccf1-452f-838a-7611d939873c>.

Ministerio de la Producción. Boletín de Producción Manufacturera Reporte de Producción Manufacturera. s.l.: Ministerio de la Producción, 2018.

Disponible en

<https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/boletines-industria-manufacturera/item/835-2018-diciembre-reporte-de-produccion-manufacturera>.

MOLINA, Kevin y TOAQUIZA, Carlos. Diseño y construcción de una máquina roladora de tubo. s.l.: Repositorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi, 2023.

Disponible en

<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10351>.

MONTENEGRO, Irvin y PRADA, Rafael. Propuesta de mitigación de impacto

ambiental mediante el diseño de una central geotérmica en el campo geotérmico Ancocollo, Tacna. s.l.: Repositorio de la Universidad César Vallejo, 2023.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/120902>.

PISANI, Elena y MICHELETTI, Stefano. Capital Social y Desarrollo Rural: Revisión de los aportes europeos en investigación aplicada. 2, 2019, Pensamiento y Acción Interdisciplinaria, Vol. 4, págs. 44-59.

Disponible en https://www.researchgate.net/publication/332952141_Capital_social_y_desarrollo_rural_Revision_de_los_aportes_europeos_en_investigacion_aplicada.

RAMIREZ, Keysi. 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. s.l.: Repositorio de la Universidad César Vallejo, 2022.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/79087>.

REZAEI, Ghazal, HASSAN, Seyed and SANKAR, Shib. Exploring the Relationship between Data Analytics Capability and Competitive Advantage: The Mediating Roles of Supply Chain Resilience and Organization Flexibility. 16, 2022, Sustainability, Vol. 14, pp. 1-23.

Disponible en <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/16/10444>.

RODAS, Klever. Diseño de mecanismo de limpieza en rejas de vocal de captación en bocatoma de agua de río, Olmos. s.l.: Repositorio de la Universidad César Vallejo, 2022.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112481>.

SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística. s.l.: Universidad Ricardo Palma, 2018.

Disponible en <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>.

SILVA, José, et al. Improvement of planning and time control in the project management of a metalworking industry - case study. 2022, Procedia Computer Science, Vol. 196, pp. 288-295.

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921022390>.

VALLE, Vanessa, et al. Design of lean manufacturing-based strategies to improve the production process of a metalworking company. 4, 2021, International Journal of Services and Operations Management, Vol. 38, pp. 566-593.

Disponible en <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/8359?locale-attribute=en>.

VASQUEZ, Leydy. Evaluación financiera para la toma de decisiones y su efecto en la rentabilidad de la empresa Alfa S.A.C. de la región Lambayeque - Olmos. s.l.: Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021.

VELASQUEZ, José. Impact of the 5S methodology in the optimization of resources in metalworking companies. 2022, International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, pp. 1-6. Disponible en https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/full_papers/FP594.pdf.

YIGANG, Jing, et al. Design and development of high precision four roll CNC roll bending machine and automatic control model. 12954, 2023, Scientific Reports, Vol. 13, pp. 1-16.

Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41598-023-40204-7>.

YUNG, Weng, et al. The crawler-type roll to plate continuous microstructure rolling process. 2022, Optik, Vol. 267, pp. 1-13.

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030402622009512>.

ANEXOS

Anexo 1: Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Independiente Diseño de una máquina roladora	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	De razón.
			Presupuesto	- Costos por concepto de materiales - Costo por mano de obra	
			Parámetros de rentabilidad	- VAN - TIR - Retorno de la inversión	
Dependiente Mejorar tiempo de producción	El tiempo de producción es la determinación del tiempo requerido para realizar y completar un proceso, tarea, actividad o suceso determinado (Andrade et al., 2019). Mejorarlo significa, reducir el tiempo para obtener mejores beneficios.	Se medirá de acuerdo al tiempo que se demorará en realizar el proceso de rolado, considerando todos los aspectos involucrados durante dicho proceso.	Tiempo de producción	- Velocidad - Espesor - Material	De razón.

Anexo 2 – 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: _____

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

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 3 – Evidencias

Ficha técnica de plancha metálica

**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.



Ficha técnica de motor WEG W22Xec IE3 trifásico de 30 kW

HOJA DE DATOS																										
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula																										
Cliente : _____																										
Línea del producto : W22Xec IE3 Trifásico			Código del producto :		12978658																					
Carcasa : 200L Potencia : 30 kW (40 HP) Polos : 6 Frecuencia : 60 Hz Tensión nominal : 440 V Corriente nominal : 53.0 A Corriente de arranque : 355 A Ip/In : 6.7 Corriente en vacío : 27.0 A Rotación nominal : 1180 rpm Resbalamiento : 1.67 % Torque nominal : 179 ft.lb Torque de arranque : 250 % Torque máximo : 280 % Clase de aislamiento : F Factor de servicio : 1.00 Momento de inercia (J) : 11.6 sq.ft.lb Categoría : N			Tiempo de rotor bloqueado : 27s (frío) 15s (caliente) Elevación de temperatura : 80 K Régimen de servicio : S1 Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C Altitud : 1000 m Grado de protección : IP55 Método de refrigeración : IC411 - TEFC Forma constructiva : B3T Sentido de giro ¹ : Ambos Nivel de ruido ² : 62.0 dB(A) Método de Arranque : Partida directa Masa aproximada ³ : 611 lb																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Potencia</td> <td style="width: 25%;">50%</td> <td style="width: 25%;">75%</td> <td style="width: 25%;">100%</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento (%)</td> <td>93.0</td> <td>93.6</td> <td>94.1</td> </tr> <tr> <td>Cos Φ</td> <td>0.61</td> <td>0.73</td> <td>0.79</td> </tr> </table>			Potencia	50%	75%	100%	Rendimiento (%)	93.0	93.6	94.1	Cos Φ	0.61	0.73	0.79	Fuerzas en la fundación Tracción máxima : 1617 lb Compresión máxima : 2228 lb											
Potencia	50%	75%	100%																							
Rendimiento (%)	93.0	93.6	94.1																							
Cos Φ	0.61	0.73	0.79																							
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)																				
6.1	5.0	4.6	3.4	2.3	1.7	1.2																				
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;"><u>Delantero</u></td> <td style="width: 50%;"></td> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;"><u>Trasero</u></td> </tr> <tr> <td>Tipo de cojinete :</td> <td style="text-align: center;">6312 C3</td> <td></td> <td style="text-align: center;">6212 C3</td> </tr> <tr> <td>Sello :</td> <td style="text-align: center;">V'Ring</td> <td></td> <td style="text-align: center;">V'Ring</td> </tr> <tr> <td>Intervalo de lubricación :</td> <td style="text-align: center;">20000 h</td> <td></td> <td style="text-align: center;">20000 h</td> </tr> <tr> <td>Cantidad de lubricante :</td> <td style="text-align: center;">21 g</td> <td></td> <td style="text-align: center;">13 g</td> </tr> <tr> <td>Tipo de lubricante :</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Mobil Polyrex EM</td> </tr> </table>				<u>Delantero</u>		<u>Trasero</u>	Tipo de cojinete :	6312 C3		6212 C3	Sello :	V'Ring		V'Ring	Intervalo de lubricación :	20000 h		20000 h	Cantidad de lubricante :	21 g		13 g	Tipo de lubricante :	Mobil Polyrex EM		
	<u>Delantero</u>		<u>Trasero</u>																							
Tipo de cojinete :	6312 C3		6212 C3																							
Sello :	V'Ring		V'Ring																							
Intervalo de lubricación :	20000 h		20000 h																							
Cantidad de lubricante :	21 g		13 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 IEC 60034-1.																							
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha																				
Ejecutor																										
Verificador					Pagina	Revisión																				
Fecha	26/06/2024				1 / 8																					

HOJA DE DATOS

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente : _____

Protección térmica

ID	Aplicación	Tipo	Cantidad	Temperatura de Detección
1	Devanado	Termistor - 2 alambres	1 x Fase	140 °C
2	Devanado	Termistor - 2 alambres	1 x Fase	155 °C

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Pagina	Revisión
Fecha	26/06/2024		2 / 8	

CURVA DE PAR Y CORRIENTE X ROTACIÓN

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente : _____

Línea del producto : W22Xec IE3 Trifásico Código del producto : 12978658



Desempeño : 440 V 60 Hz 6P

Corriente nominal	: 53.0 A	Momento de inercia (J)	: 11.6 sq.ft.lb
Ip/In	: 6.7	Régimen de servicio	: S1
Torque nominal	: 179 ft.lb	Clase de aislamiento	: F
Torque de arranque	: 250 %	Factor de servicio	: 1.00
Torque máximo	: 280 %	Elevación de temperatura	: 80 K
Rotación nominal	: 1180 rpm	Categoría	: N

Tiempo de rotor bloqueado : 27s (frío) 15s (caliente)

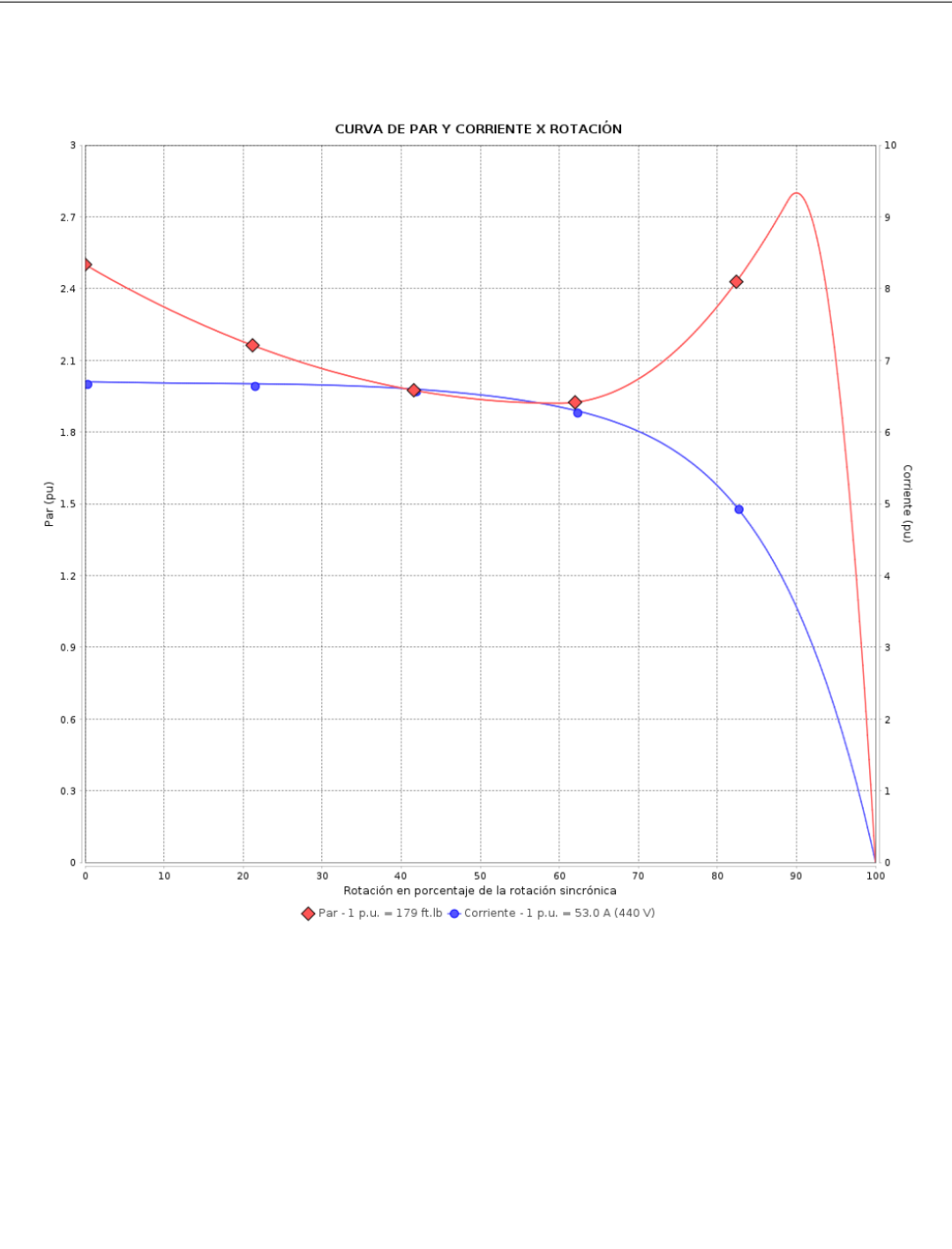
Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor			Pagina	Revisión
Verificador				
Fecha				
			3 / 8	

CURVA DE PAR Y CORRIENTE X ROTACIÓN

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Ciente : _____



Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Pagina	Revisión
Fecha	26/06/2024		4 / 8	

CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Ciente :

Línea del producto

: W22Xec IE3 Trifásico

Código del
producto :

12978658

Desempeño : 440 V 60 Hz 6P

Corriente nominal	: 53.0 A	Momento de inercia (J)	: 11.6 sq.ft.lb
Ip/In	: 6.7	Régimen de servicio	: S1
Torque nominal	: 179 ft.lb	Clase de aislamiento	: F
Torque de arranque	: 250 %	Factor de servicio	: 1.00
Torque máximo	: 280 %	Elevación de temperatura	: 80 K
Rotación nominal	: 1180 rpm	Categoría	: N

Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor				
Verificador			Página	Revisión
Fecha	26/06/2024		5 / 8	

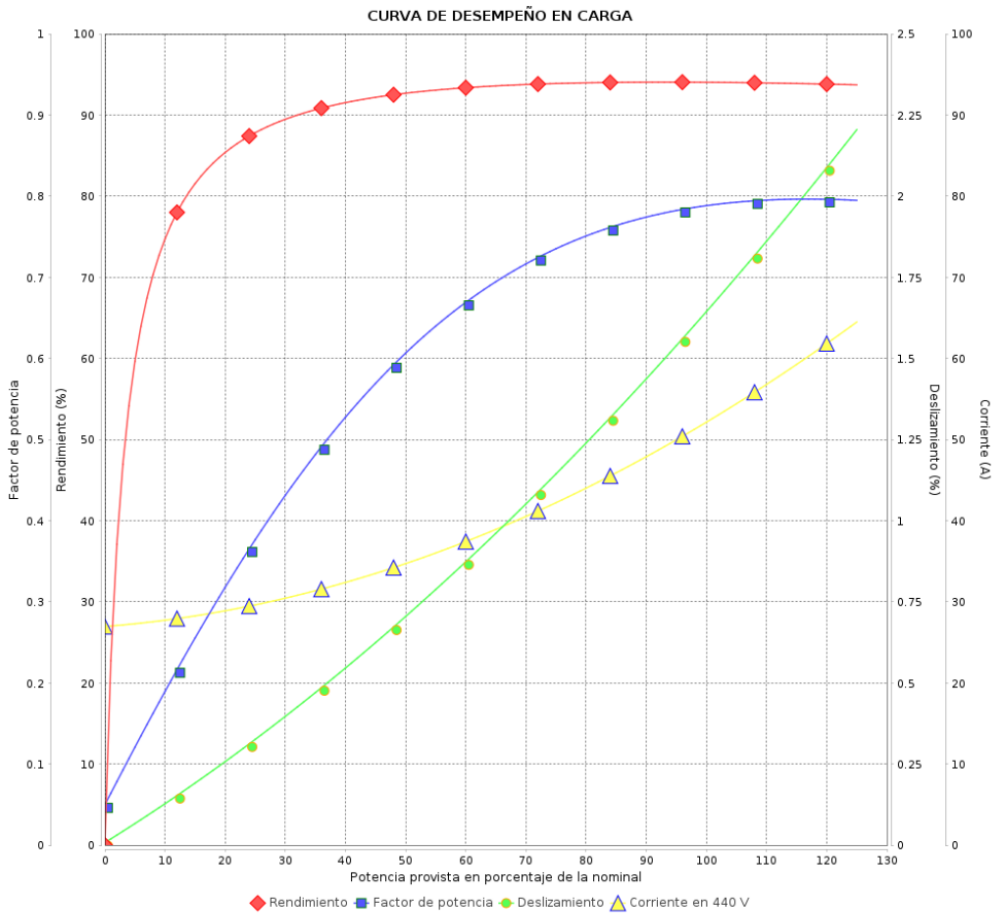
Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.
Sujeto a cambios sin previo aviso

CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente : _____



Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor	26/06/2024		Pagina	Revisión
Verificador			6 / 8	
Fecha				

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

CURVA DE OPERACIÓN CON CONVERTOR DE FRECUENCIA



Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula

Cliente	:		Código del producto	12978658
Línea del producto	:	W22Xec IE3 Trifásico	producto :	



Desempeño	: 440 V 60 Hz 6P		
Corriente nominal	: 53.0 A	Momento de inercia (J)	: 11.6 sq.ft.lb
Ip/In	: 6.7	Régimen de servicio	: S1
Torque nominal	: 179 ft.lb	Clase de aislamiento	: F
Torque de arranque	: 250 %	Factor de servicio	: 1.00
Torque máximo	: 280 %	Elevación de temperatura	: 80 K
Rotación nominal	: 1180 rpm	Categoría	: N

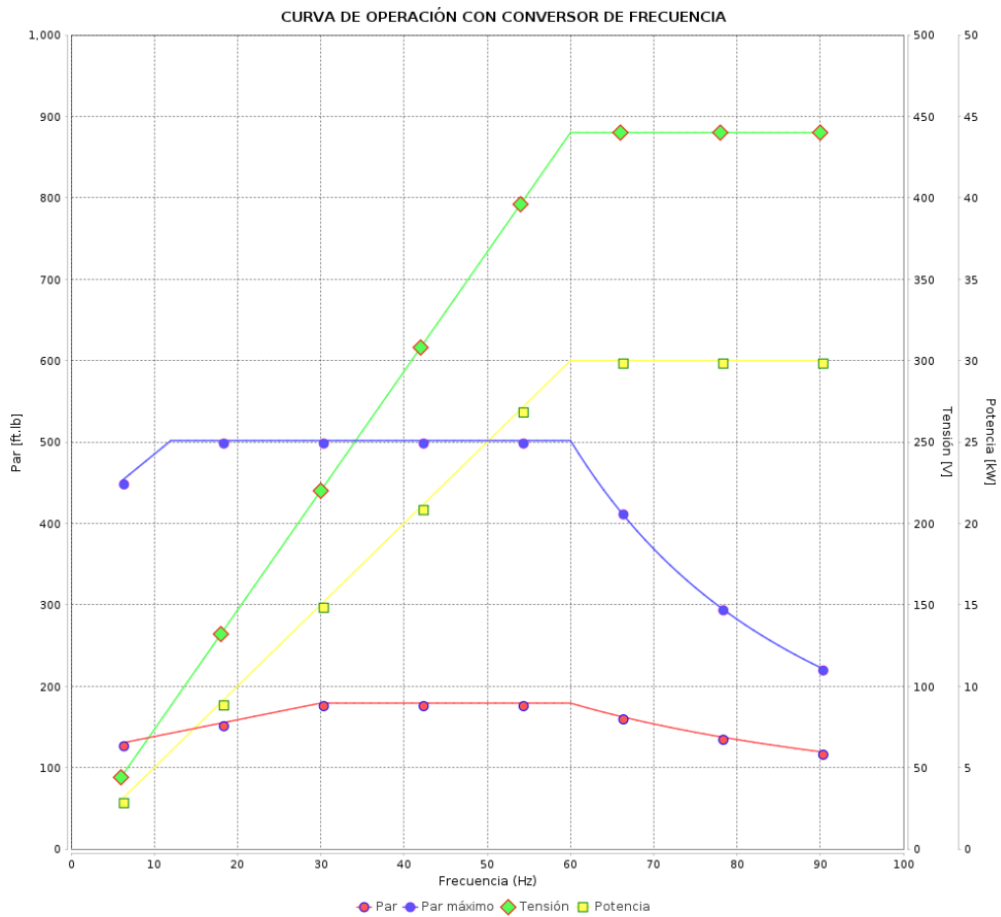
Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor			Pagina	Revisión
Verificador			7 / 8	
Fecha	26/06/2024			

CURVA DE OPERACIÓN CON CONVERTOR DE FRECUENCIA

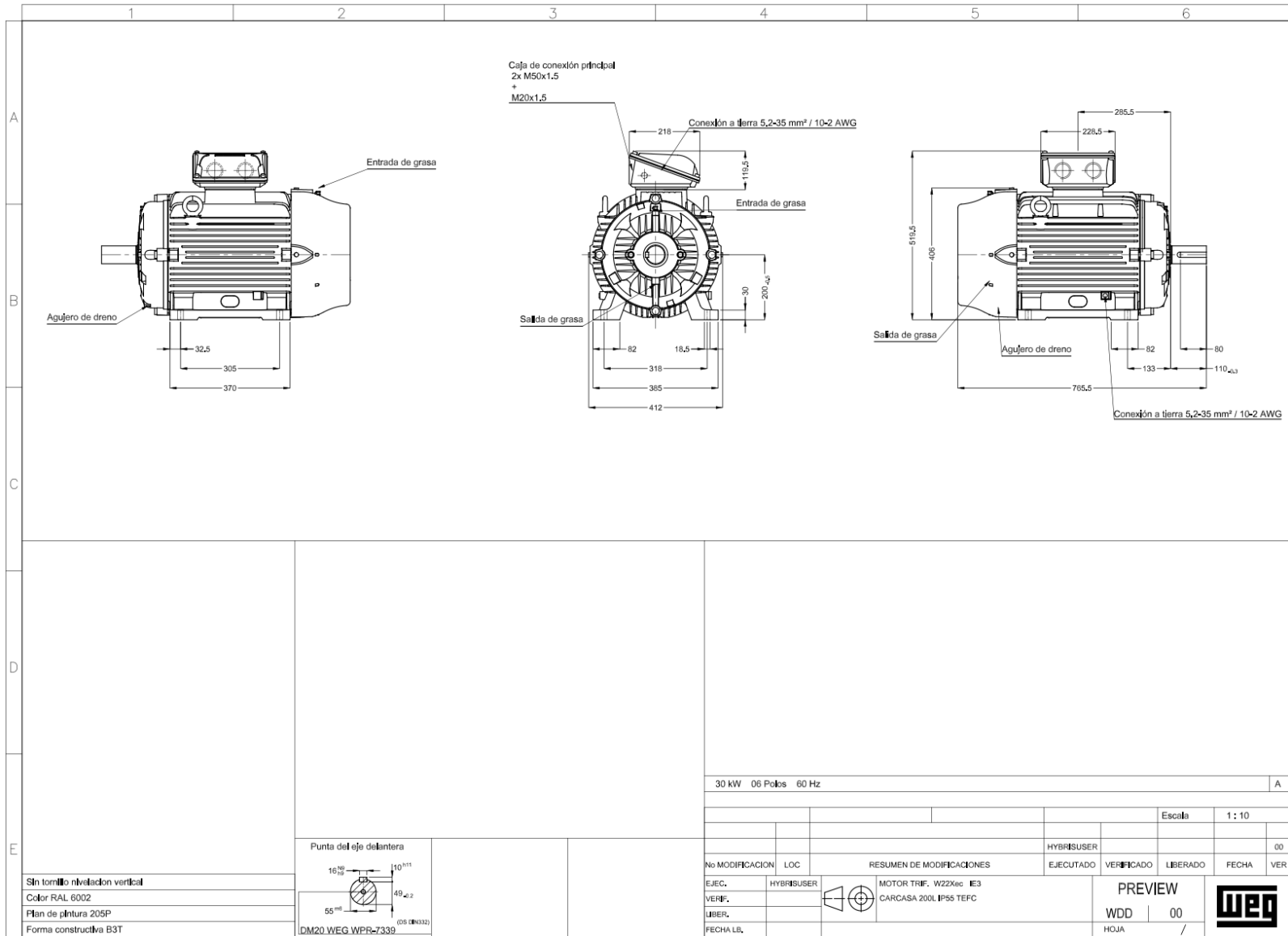


Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula

Cliente : _____



Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor			Página	Revisión
Verificador			8 / 8	
Fecha	26/06/2024			



Sin tornillo nivelación vertical
 Color RAL 6002
 Plan de pintura 205P
 Forma constructiva B3T

