

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño estructural de una máquina roladora para manufacturar ductos
cónicos

INGE-2411

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS EN MECÁNICA

Presentado por:

Anthony Eduardo Delgado Zambrano

Víctor Emanuel González Quinto

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermanos, ya que fueron pilares fundamentales durante todo mi período de estudiante y de vida en general. Se merecen todos frutos que salgan del árbol que cultivaron con paciencia, dedicación y amor.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme tener todo en la vida, mi familia. Mis padres por forjarme correctamente desde la niñez.

A mis tutores y profesores, por la paciencia, dedicación y buena de forma de enseñar durante mi proceso de estudiante.

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios, mis padres y mis hermanos, por ser parte esencial en este largo camino, nunca dejarme desfallecer y por darme consejos para nunca perder el enfoque durante esta ardua batalla. Sin su apoyo, fuerza y amor estoy seguro de que hubiera sido más difícil, es por esto que mi agradecimiento será eterno para con ellos.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios que me dio salud, a mi padre que por medio de su ejemplo me enseñó a nunca rendirme, a mi madre que nunca dejó que decayera y perdiera el enfoque, a mi hermana que me siempre estuvo presta a escucharme, a mi hermano que nunca dejó que una sonrisa faltara.

A mis tíos, que, sin su apoyo, el camino hubiera sido más opaco, a mis abuelitos que sin sus palabras de cariño no me hubiera levantado una y otra vez.

A mis profesores que siempre dieron su mejor esfuerzo para formar el profesional que soy y a mis amigos que me enseñaron a sobrellevar un momento amargo con una sonrisa.

Gracias.


Declaración Expresa

Nosotros Anthony Eduardo Delgado Zambrano y Víctor Emanuel González Quinto acordamos y reconocemos que:

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

Guayaquil, 6 de febrero del 2024


Anthony Eduardo Delgado Zambrano


Víctor Emanuel González Quinto

Evaluadores

PhD. Emérita Delgado

Profesor de Materia

Ing. Ernesto Martínez

Profesor Tutor

Resumen

La manufactura de elementos cónicos de forma eficiente se ha convertido en una necesidad dentro del taller metalmeccánico ERMARLO S.A; es por lo que se buscó diseñar de forma estructural una máquina roladora para ductos cónicos. El diseño estructural de la máquina roladora parte con los parámetros iniciales impuestos por el cliente, buscando y seleccionando alternativas de solución y representándola por medio de softwares ingenieriles; logrando tener así, un producto con bajos costos, alta seguridad para el operario, capacidad de rolado en base a las necesidades del cliente y fácil mantenimiento. La máquina roladora cuenta con un rodillo superior ajustable a diferentes ángulos que le permitirá ejercer presión sobre la plancha a laminar; asimismo, los rodillos móviles inferiores cuentan con una conexión directa al sistema de transmisión de potencia impulsados por un motorreductor. Finalmente, el diseño estructural de la máquina roladora estima un bajo costo de construcción, ergonomía y seguridad para el operador, así como una eficiencia de manufactura que el cliente necesita.

Palabras Clave: Maquina roladora, rodillos cónicos, sistema de transmisión, ángulo de conicidad

Abstract

The efficient manufacture of tapered elements has become a necessity within the ERMARLO S.A metalworking workshop; that is why we sought to structurally design a bending machine for conical ducts. The structural design of the bending machine starts with the initial parameters imposed by the customer, looking for and selecting alternative solutions and representing it through engineering software; Thus, achieving a product with low costs, high safety for the operator, rolling capacity based on the customer's needs and easy maintenance. The rolling machine has a top roller adjustable to different angles that will allow you to exert pressure on the plate to be laminated; In addition, the lower movable rollers have a direct connection to the power transmission system driven by a geared motor. Finally, the structural design of the bending machine estimates a low construction cost, ergonomics, and safety for the operator, as well as the manufacturing efficiency that the customer needs.

Keywords: Bending Machine, Tapered Rollers, Transmission System, Taper Angle

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

NACE National Association of Corrosion Engineer

SSC Electrodo de Plata Cloruro de Plata

ASME American Society of Mechanical Engineers

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

Simbología

mil milésimas de pulgada

mm milímetro

KN Kilonewton

MPa Megapascales

KW Kilowatts

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Abreviaturas.....	III
Simbología.....	IV
Tabla de contenido.....	V
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	XI
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Máquinas Roladoras.....	5

Capítulo 2.....	26
2.1 Metodología.....	27
2.2 Diagrama de proceso del proyecto.....	27
2.3 Requerimientos del cliente.....	29
2.4 Factores importantes para considerar.....	30
2.5 El estado actual de la maquina / problema del equipo.....	30
2.6 Alternativas de solución de diseño.....	33
2.7 Cálculos preliminares.....	39
Capítulo 3.....	49
3.1 Resultados y análisis.....	50
3.2 Diseño de forma de la máquina roladora para ductos cónicos.....	51
3.4 Análisis de Cargas en el rodillo.....	58
3.5 Sistema generación de movimiento para los rodillos cónicos.....	61
3.6 Sistema generación de potencia.....	67
3.7 Sistema de transmisión/reductor.....	68
3.8 Análisis de costos.....	71

Capítulo 4.....	78
4.1 Conclusiones y recomendaciones	79
4.1.1 Conclusiones	79
4.1.2 Recomendaciones.....	80
Apéndice A	81
Referencias.....	82
ANEXOS	86

Índice de figuras

Figura 1 Máquina roladora con 3 rodillos KRM 10/5.0.....	7
Figura 2 <i>Máquina roladora de 4 rodillos MCA series</i>	8
Figura 3 <i>Máquina roladora de 3 rodillos KRM ST 30/5</i>	9
Figura 4 <i>Máquina roladora de 3 rodillos KRM-A series</i>	10
Figura 5 Proceso de rolado.....	11
Figura 6 Rolado de lámina de acero.....	12
Figura 7 Esquematización de rolado en frío con roladora de 3 rodillos	13
Figura 8 Sistemas que conforman una máquina roladora de 3 rodillos manual con 2 rodillos motores.	15
Figura 9	16
Figura 10 Apriete inicial de 3 rodillos	18
Figura 11 Apriete doble de 3 rodillos.....	19
Figura 12 Apriete doble de 4 rodillos.....	20
Figura 13 Apriete traslacional variable de 3 rodillos	21
Figura 14 Flujograma del proceso de diseño	28
Figura 15 Diseño de forma máquina roladora de 3 rodillos cónicos	52

Figura 16	Convergencia de los rodillos cónicos.	55
Figura 17	Boceto de estructura (bancada) máquina roladora.	56
Figura 18	Vista lateral de la roladora cónica.	57
Figura 19	Estructura trasera de la roladora (Diseño final 1)	58
Figura 20	Representación de las fuerzas presentes el momento del rolado en el rodillo de empuje	59
Figura 21	Representación del momento cortante en el rodillo superior.	60
Figura 22	Representación del momento flector presente en el rodillo superior.	60
Figura 23	76
Figura 24	Ficha técnica de la máquina roladora	95
Figura 25	Simulación que determina el desplazamiento máximo en el eje de transmisión.	96
Figura 26	Factor de seguridad en el eje de transmisión.	97
Figura 27	Esfuerzo de Von Mises	98
Figura 28	Factor de seguridad en la estructura del rodillo cónico de la máquina.	99
Figura 29	Desplazamiento en la estructura del cono.	100
Figura 30	Esfuerzo de Von Mises en estructura del cono.	101

Figura 31	Desplazamiento en estructura del rodillo de la máquina roladora.....	102
Figura 32	Factor de seguridad en el rodillo de la máquina roladora.....	103
Figura 33	Esfuerzo de Von Mises en rodillo cónico.....	104
Figura 34	Desplazamiento en soporte de rodillos	105
Figura 35	Factor de seguridad en soportes de los rodillos.....	106
Figura 36	Esfuerzos de Von Mises en soporte de rodillos.....	107

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Influencia de las propiedades mecánicas en el proceso de rolado</i>	14
Tabla 2	Estado actual de la máquina/ problemas del equipo	31
Tabla 3	Factores de influencia.....	34
Tabla 4	Criterios de selección para la máquina roladora para ductos cónicos.....	35
Tabla 5	Factor de importación criterio de selección	36
Tabla 6	Comparación por pares para máquina roladora para ductos cónicos.....	36
Tabla 7	Matriz de decisión para máquina roladora	38
Tabla 8	Propiedades mecánicas de la plancha A36.....	39
Tabla 9	Medidas estándar de la plancha A36.....	40
Tabla 10	Propiedades mecánicas del acero inoxidable	40
Tabla 11	Dimensiones estándar de las planchas de acero inoxidable.....	41
Tabla 12	Partes principales de la máquina roladora.....	53
Tabla 13	Selección de rodamientos.....	61
Tabla 14	Simulación para el rodamiento seleccionado 22312 E	65

Tabla 15	Características del motor.....	67
Tabla 16	Lista de materiales principales para la construcción de la roladora.....	73
Tabla 17	Elementos generadores de movimiento	74
Tabla 18	Cotización del mecanizado de partes principales de la roladora.....	75
Tabla 19	Costos finales	76

Capítulo 1

1.1 Introducción

Dentro de la industria metalmecánica existe un sin fin de proyectos que requieren la manufactura de estructuras con diseños cónicos para diversas aplicaciones como ciclones y tolvas, donde su fabricación posee una gran carga laborar en tiempo y mano de obra, además de ser poco ergonómico para el operador con una máquina roladora convencional.

Es por esta razón, que se busca “diseñar estructuralmente una máquina roladora para manufacturar ductos cónicos”, que ayudará al taller metalmecánico ERMARLO S.A. a garantizar una facilidad para sus operadores a la hora de la fabricación de ductos cónicos, optimizando el tiempo de manufactura dentro de cada proyecto presentado al taller.

Dentro del diseño se analizarán las fuerzas requeridas para el doblado de las planchas y tipos de cargas que la máquina roladora que podrá soportar durante la operación, se procederá con la selección de materiales que permitan su durabilidad, fácil mantenimiento del equipo.

Por otro lado, se acondicionará a la máquina con un sistema de seguridad y plan de mantenimiento a partir de un análisis de tensiones y deformaciones de la roladora con la ayuda de un software de ingeniería.

Finalmente, se generarán y presentarán los planos que describirán las dimensiones y características que tendrán los componentes y estructura de la máquina roladora, considerando que solo se abarcará el diseño estructural más no la materialización de la máquina.

1.2 Descripción del problema

Dentro de las industrias alimentarias y de cemento existen procesos como el control de la generación de polvos y la recuperación de material en los procesos de producción; esto se debe a la separación de partículas dentro de un flujo de aire o gas y es la principal función que realiza un ciclón o separador ciclónico dentro de las industrias.

Estas estructuras cónicas están hechas de materiales resistentes y se las manufacturan por medio de rolados en frío, es decir, usando una máquina roladora para ductos cónicos se logran los acabados para estos elementos importantes de la industria. Sin embargo, existen fábricas dedicadas a la metalmecánica que no poseen roladoras específicas que realicen las secciones cónicas y usan roladoras cilíndricas que el operador adapta a las necesidades, logrando acabados no tan limpios y con pequeñas aberturas que luego son corregidas con material de relleno o soldadura.

Es por ello, que se requiere realizar un diseño estructural de una máquina roladora para la manufactura de ductos cónicos que servirán en las industrias alimenticias y de cementos, donde se priorizan las cargas máximas que soportará la máquina durante un trabajo de rolado, el espacio que ocupará, condiciones de seguridad, costos y algunas optimizaciones de diseño.

Dentro del diseño estructural, gracias al uso del software ingenieril “INVENTOR”, se generaron los planos de todos los componentes de la máquina roladora, así mismo con la ayuda de SkyCiv, se realizó un análisis de cargas que nos permitió establecer la selección de materiales apropiados; todo esto con la finalidad de diseñar una máquina ergonómica y estética.

1.3 Justificación del problema

El diseño estructural de la máquina roladora para manufacturar ductos cónicos permitirá a futuro construir una máquina herramienta muy importante dentro de la industria metalmeccánica. Con ello se podrán resolver problemas de elaboración y diseño de ductos cónicos utilizadas en equipos para separación de partículas como es el caso de los ciclones, comúnmente instalados a nivel industrial.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una máquina roladora de forma estructural para la manufactura de ductos cónicos cumpliendo con las normas de diseño y construcción en Ecuador.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un análisis de cargas y fuerzas que soportará la máquina roladora durante la operación de rolado
2. Seleccionar los tipos de material adecuado para asegurar durabilidad y resistencia de la máquina roladora
3. Diseñar los componentes y elementos de la máquina roladora, utilizando software de ingeniería

1.5 Marco teórico

Dentro de este capítulo se englobarán temas relevantes relacionado al diseño de una máquina roladora direccionado a la manufactura de ductos cónicos. Los conceptos irán desde la historia de diseño de la máquina roladora, pasando sus tipos, componentes y sistemas, algunos parámetros esenciales dentro de la operación de la máquina, mecánica de los rodillos, materiales que pueden ser manufacturados y sus propiedades, diseño estructural de la máquina, algunas normas ISO de seguridad y calidad que rigen dentro de la industria y una ligera introducción a la automatización y sistemas de control de la máquina.

1.5.1 Máquinas Roladoras

Las máquinas roladoras son herramientas fundamentales en la industria metalmecánica que ayuda con la manufactura de un sinfín de estructuras en formas cilíndricas o cónicas a partir de planchas metálicas de diferentes tipos de materiales y propiedades mecánicas para distintos tipos de aplicaciones de una industria.

Dentro de este apartado, nos centraremos en la manufactura de estructuras cónicas que serán destinadas a las industrias alimenticias y cementeras del país. Estas estructuras cónicas serán limitadas a ciclones y tolvas, ya que son las más comunes en cuestiones de uso y fabricación.

1.5.1.1 Tolvas. Las tolvas son estructuras cónicas similares a un embudo utilizadas en la industria como contenedoras de productos o materia prima, con el fin de alimentar a una máquina y dar paso a un proceso de manufactura (**Tecnotanques, 2019**).

1.5.1.2 Ciclones. Los ciclones son estructuras cónicas similares a las tolvas, con la diferencia en su aplicación dentro de la industria, ya que en conjunto con otros componentes sirven para separar estructuras sólidas en medio gaseosos (**UPM, s.f.**).

1.5.2 Tipos de máquinas roladoras

Dentro del estudio de la máquina roladora vamos a encontrar un sinnúmero de modelos con similares o diferentes trabajos de laminado en frío. A continuación, se presentarán una lista encaminada a nuestras necesidades de diseño de máquinas roladoras que diferirán en modelos, tipo y modo de operación, alcance, etcétera.

1.5.2.1 Roladora de 3 rodillos. Los rodillos en este tipo de roladora se encuentran en una posición que forman un triángulo equilátero o pirámide. La propiedad de esta máquina consiste en que el rodillo superior aplica la fuerza de deformación y puede desplazarse en un sentido mientras que los rodillos inferiores permiten el desplazamiento lateral del objeto conformado.

1.5.2.2 Roladora con apriete sencillo de tres rodillos. Este de roladora también se la conoce como roladora asimétrica debido a la posición de los rodillos, en esta disposición el rodillo superior se mantiene fijo, mientras que los rodillos inferiores pueden cambiar su geometría. Uno de los rodillos inferiores se sitúa justo debajo del rodillo superior, esta máquina rola hasta un máximo de 6 [mm] de espesor.

1.5.2.3 Máquina roladora con 3 rodillos motores. Esta máquina de rolado laminar cuenta con 3 rodillos que pueden ser accionados de forma manual o motora (ver Figura 1). Dentro de las características motoras de la máquina destacan una potencia de 2.2 KW. Esta máquina es capaz de lograr acabados especiales como los rolados cónicos con medidas de grosor de chapa (lámina de acero o materia prima) hasta 4.5mm y altura de 1500 mm, es por lo que se considera una operación manual para la máquina. Los 3 rodillos están fabricados a tal punto de trabajar con aceros inoxidable (KNUTH, s.f.).

Figura 1 Máquina roladora con 3 rodillos KRM 10/5.0



Nota: Imagen de Direct industry (KNUTH, s.f.)

1.5.2.4 Máquina roladora de 4 rodillos. Esta máquina roladora de 4 rodillos con accionamiento hidráulico (ver figura 2), cuenta con la capacidad de realizar rolados tipo cónico permitiendo un grosor y anchura de chapa de hasta 16mm y 2500mm respectivamente. Cuenta además con un sistema de control automatizado que facilita la operación de rolado.

Figura 2 Máquina roladora de 4 rodillos MCA series



Nota: Imagen de Direct industry (KNUTH, s.f.)

1.5.2.5 Máquina roladora de 3 rodillos manual. Esta máquina roladora permite doblados de lámina de hasta 3 mm, cuenta con 3 rodillos y un bastidor sólido y robusto que hace posible este tipo de rolado. Es una máquina de accionado manual que cuenta con un motor de 4 KW de potencia para dos de los tres rodillos de la roladora. (ver figura 3)

Figura 3 *Máquina roladora de 3 rodillos KRM ST 30/5*



Nota: Imagen de Direct industry (KNUTH, s.f.)

1.5.2.6 Máquina roladora de 3 rodillos. Esta máquina roladora cuenta con 3 rodillos endurecidos asimétricos que facilitan la tracción durante la operación de laminado. Tiene una capacidad operativa de hasta 3.3 mm de grosos de lámina y un ancho de hasta 2.050mm. Tiene un accionamiento eléctrico y motorizado con freno del motor. Con esta máquina se pueden realizar mecanizados cónicos. (ver figura 4)

Figura 4 Máquina roladora de 3 rodillos KRM-A series



Nota: Imagen de Direct industry (KNUTH, s.f.)

1.5.3 *Proceso de rolado*

El rolado es un proceso de laminado en frío donde un material (tubos, láminas de acero, etcétera.) pasa a través de unos rodillos cuyos números dependerán del diseño y requerimientos o necesidades de la máquina que rola el material. Estos rodillos generan una fuerza que se aplica al material a laminar por medio de accionados manuales o motores, y esta última condición de accionado dependerá de las dimensiones y robustez de la lámina o tubo a rolar (MOV, s.f.). En la figura 5 se aprecia una lámina de acero sometida al rolado.

Figura 5 Proceso de rolado



Nota: Imagen de Rolado.com.MX (MOV, s.f.).

1.5.3.1 Tipos de rolados. Dentro de la industria metalmeccánica existen diferentes tipos de rolados o laminados en frío, entre ellos destacaremos los rolados en lámina.

Existen diferentes parámetros a considerar dentro del rolado de láminas, el tipo de material, espesores, etcétera.

El rolado en lámina no es otra cosa que la deformación del material con la ayuda de unos rodillos giratorios accionados de forma manual o automática, dependiendo de los requerimientos de operación. En la figura 6 se puede apreciar el rolado de una lámina de acero.

Figura 6 Rolado de lámina de acero

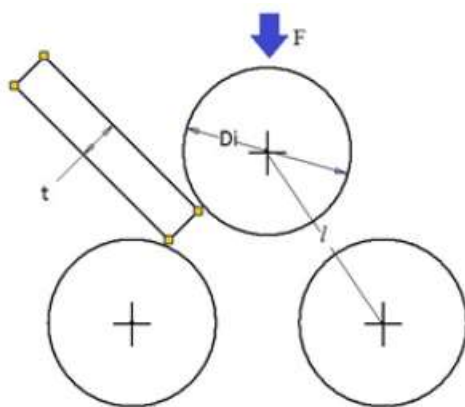


Nota: Imagen de lámina de acero rolada de Rolado.com.MX (MOV, s.f.)

1.5.4 Tipos de materiales que pueden ser rodados y la influencia de las propiedades mecánicas dentro del proceso

Dentro del proceso de rodado existen una variedad de materiales que pueden ser rodados, pero los más comunes en la mayoría de los procesos son los aceros negros o aceros recubiertos y aceros inoxidable. El fin del proceso es el estiramiento, alargamiento o reducción de espesor de la lámina gracias a la fuerza que ejercen los rodillos sobre el material. Se tiene en cuenta que la configuración de los rodillos infliere directamente en el acabado final del proceso de rodado, es por lo que se tienen 2, 3 y 4 rodillos en diferentes configuraciones útiles para trabajos específicos de manufactura (Aceropedia, 2023). Por otro lado, en lo que respecta al rodado, se tienen 2 procesos como lo son el rodado en caliente (hot rolled) y rodado en frío (cold rolled). El rodado en frío las características del material mecanizado cambian de forma considerable, permitiendo la aplicación de otros acabados a la lámina procesada como pueden ser galvanizado, etcétera. En la figura 7 se aprecia lo descrito anteriormente

Figura 7 Esquemmatización de rodado en frío con roladora de 3 rodillos



Nota: esquematización de una máquina rodadora de 3 rodillos (Ávila Balaguera , Rodríguez Baracaldo , & Espejo Mora, 2015).

1.5.4.1 Influencia de las propiedades del material en el proceso de rolado. Las propiedades de los materiales tienen una influencia directa dentro de lo que es el proceso de rolado en frío o laminado.

A continuación, en la tabla 1, se describirán en un recuadro las propiedades de las láminas y la incidencia sobre la máquina durante el proceso de rolado.

Tabla 1 *Influencia de las propiedades mecánicas en el proceso de rolado*

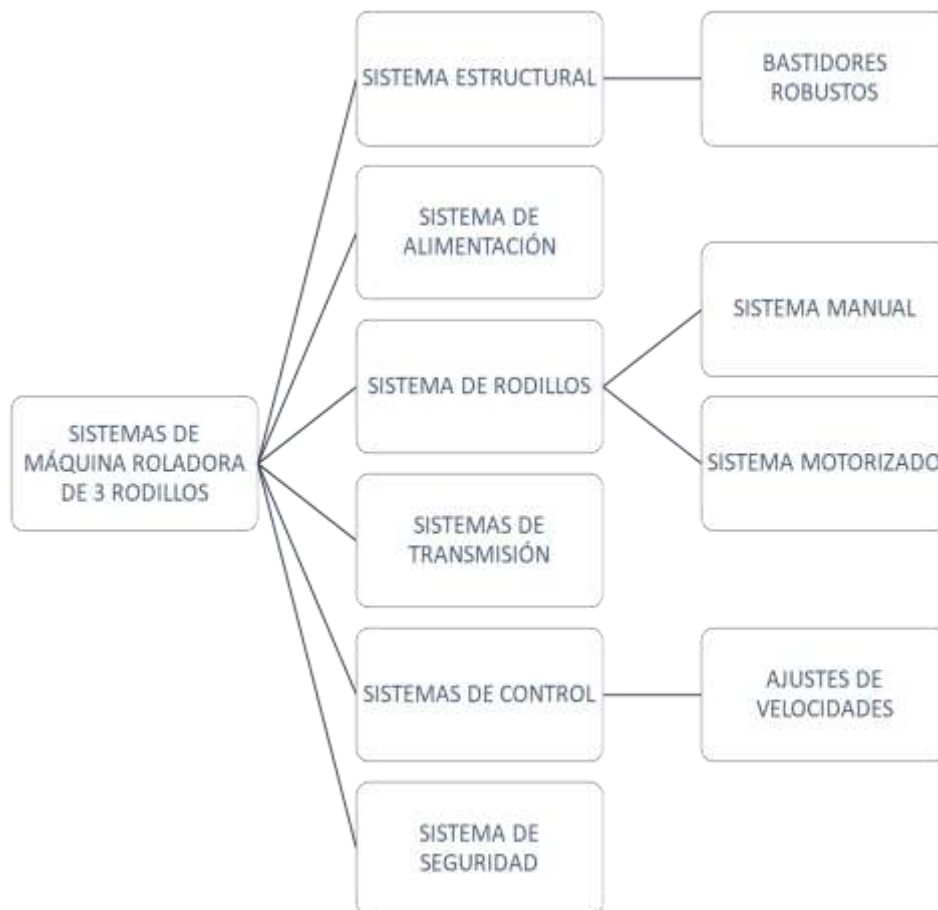
Propiedades	Incidencia sobre el proceso de rolado
Dureza	La máquina necesitará más fuerza de trabajo en los para lograr la deformación de la lámina.
Espesor	A mayores espesores, se necesitará una máquina roladora más robusta con mayor potencia para operar.
Dimensiones y tolerancias	Los cambios de dimensiones dentro del proceso de rolado sin considerarlos pueden generar errores de diseño.
Ductilidad	La ventaja de los materiales dúctiles se encuentra en su facilidad para el laminado.

Nota. Datos tomados de la presentación de la Universidad del País Vasco (Ávila Balaguera, Rodríguez Baracaldo, & Espejo Mora, 2015).

1.5.5 *Sistemas que componen a una máquina roladora*

En este apartado nos enfocaremos en describir los sistemas que conforman las máquinas roladoras manuales con 2 rodillos motores (figura 8), siendo el tipo de diseño a seguir para adaptarlos a la manufactura de ductos cónicos.

Figura 8 Sistemas que conforman una máquina roladora de 3 rodillos manual con 2 rodillos motores.



1.5.5.1 Sistema estructural. El sistema estructural de la máquina roladora es muy importante a la hora de operar, ya que la capacidad de rolado de la máquina es proporcional a las dimensiones que tendrá. Es por lo que, se busca que el bastidor de la máquina sea diseñado con materiales resistentes a las cargas a la que estará sometidas durante el rolado. En la figura 9 se presenta una maquina tipo industrial.

Figura 9

Estructura robusta de una máquina de rolado



Nota: Imagen de máquina roladora industrial tomada de la página de Panel y acanalados (Panel y acanalados Monterrey, 2022).

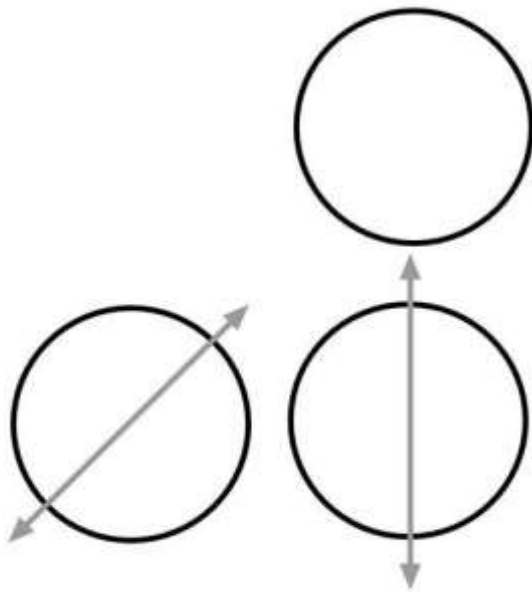
1.5.5.2 Sistemas de rodillos. El sistema de rodillos se va a regir según el tipo de apriete de estos, y se ajustarán a las necesidades de operación de la máquina. Se debe tener en cuenta que la capacidad de la máquina roladora es más importante que su estilo de operación (**The Fabricator, 2011**).

La capacidad de la maquina dependerá del tipo de propiedad que tenga el material base, es decir, el fabricante se enfoca en los límites elásticos de las láminas y diseña los rodillos en base a esos límites.

Los estilos de la máquina roladora serán regidos con el sistema de apriete de rodillos que se requiera. Describiremos los tipos de aprietes de rodillos y posicionamiento de estos a continuación.

1.5.5.2.1 Apriete inicial de 3 rodillos. Esta configuración de rodillos (Ver figura 10) se los utiliza para trabajos de capacidad ligera y sus sistemas motores en su mayoría pueden ser electromecánicos o hidráulicos. Las máquinas hidráulicas con esta configuración cuentan con un sistema de liberación del rodillo superior que ayudará a la extracción de la lámina rolada.

Figura 10 Apriete inicial de 3 rodillos

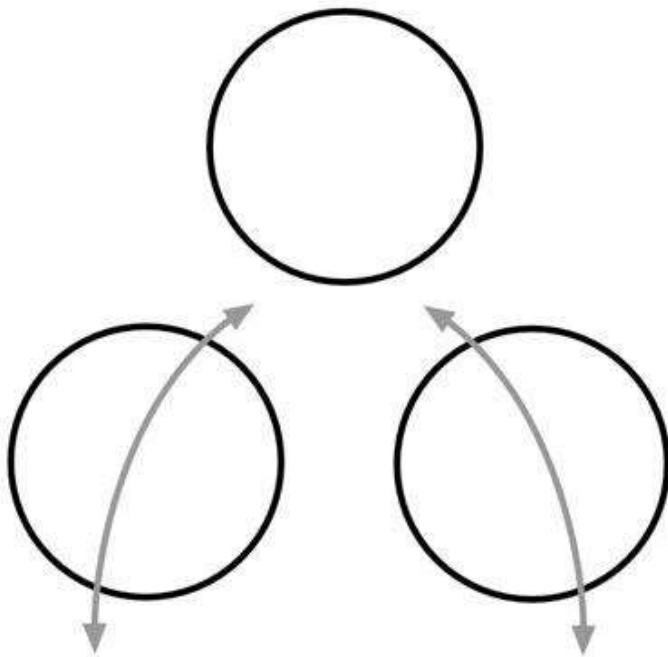


Nota: Imagen tomada de The Fabricator (The Fabricator, 2011).

En la figura 10 se mostró el apriete inicial de 3 rodillos que puede tener una máquina roladora. En este apriete el rodillo superior quedará fijo y es que se accionará de forma manual por el operador; mientras que los dos rodillos inferiores serán accionados de forma motora, uno ellos se desplazarán de arriba hacia abajo (rodillo ubicado paralelamente debajo del rodillo superior) y el otro rodillo se desplazará de forma inclinada con direcciones de arriba hacia abajo como se muestra.

1.5.5.2.2 Apriete doble de 3 rodillos y 4 rodillos. Esta configuración permite trabajo de capacidades ligeras y muy pesadas, las cuales pueden tener 3 o 4 rodillos.

Figura 11 Apriete doble de 3 rodillos

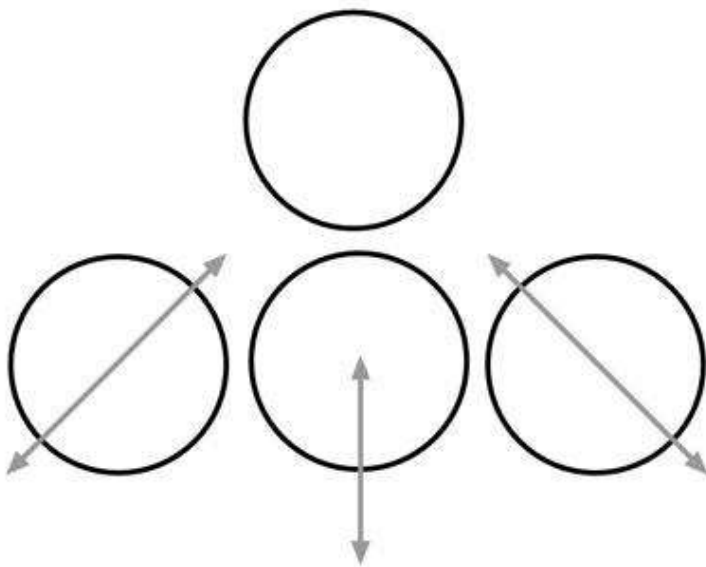


Nota: Imagen tomada de The Fabricator (The Fabricator, 2011).

Dentro de esta configuración de doble apriete, el rodillo superior queda fijo, mientras que los rodillos inferiores tendrán un desplazamiento como se mostró en la figura 11.

Dentro del sistema de 4 rodillos (figura 12), el apriete doble cuenta con un rodillo superior fijo, mientras que los 3 rodillos superiores se desplazaran de arriba hacia abajo dependiendo del trabajo a relazar.

Figura 12 Apriete doble de 4 rodillos

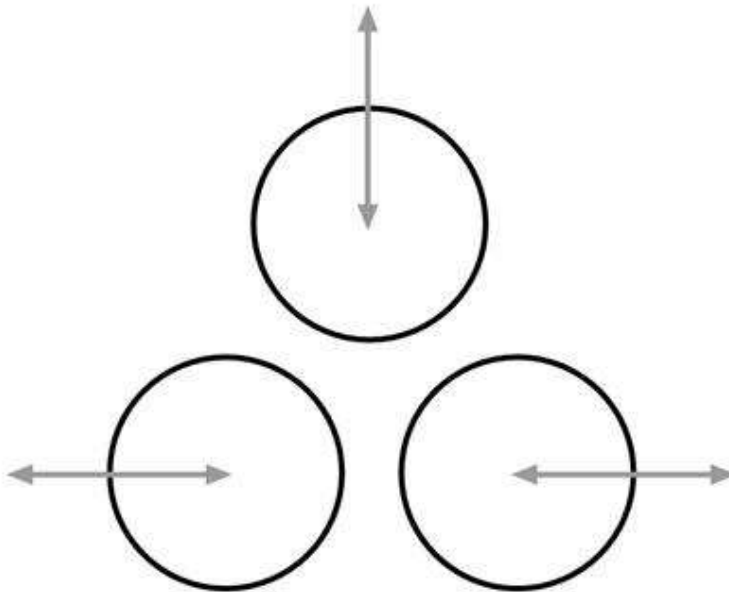


Nota: Imagen tomada de The Fabricator (The Fabricator, 2011).

Por otro lado, estas configuraciones de doble ajuste pueden ser confundidos con el sistema de rodillos piramidal.

1.5.5.2.3 Traslación variable de 3 rodillos. Esta configuración variable es usada en rolados de placas que van de un peso medio a muy pesado. La ventaja de la traslación de rodillos es la operación de distintos espesores de materiales. El sistema cuenta con un rodillo superior que tendrán una trayectoria de arriba hacia abajo, mientras que los rodillos inferiores tienden a moverse de derecha a izquierda como se muestra en la siguiente figura 13.

Figura 13 Apriete traslacional variable de 3 rodillos



Nota: Imagen tomada de The Fabricator (The Fabricator, 2011).

Dentro del mundo del rolado existen más configuraciones, sin embargo, las vistas hasta ahora son las más utilizadas y ventajosas dentro de la industria metalmecánica.

1.5.6 Diseño estructural de una máquina roladora

Las máquinas deben siempre registrarse bajo los diseños estructurales para garantizar que la estructura y elementos que la conforman tengan una buena resistencia durante el proceso de operación, la estabilidad necesaria y la integridad.

El diseño estructural describe una serie de pasos o procesos que el mecánico debe aplicar al diseño que se está realizando, en este caso, la máquina roladora de ductos cónicos.

A continuación, se describirán de forma breve lo que contiene un análisis estructural en el proceso de diseño.

1.5.6.1 Análisis de cargas. El diseño estructural de una máquina comprende realizar un análisis de cargas donde se determinan las fuerzas, momentos, cargas, presiones, temperaturas y otras cargas que actúen sobre la estructura o elementos de la máquina durante el proceso de operación o reposo.

1.5.6.2 Análisis y selección de materiales. Para que una máquina roladora o máquina en general tenga un tiempo de vida útil mayor, se debe realizar un análisis de propiedades de materiales y ver con cuales podemos lograr una prolongación de esta vida útil, para luego seleccionarlos. Vale recalcar que este proceso de selección de material determinará la calidad de nuestra máquina.

1.5.6.3 Diseño y dimensionamiento de elementos componentes. El dimensionamiento y posterior diseño de los elementos que conformarán los sistemas de operación de la máquina roladora o máquina en general, permitirá establecer una clara idea de las capacidades de operación que la máquina podría tener.

1.5.6.4 Análisis de deformaciones. Este análisis permitirá establecer límites de operación máxima de la máquina, asegurando que no se llegue al fallo o límites de los esfuerzos.

1.5.6.5 Seguridad. Actualmente toda máquina deben tener sistemas de seguridad que garantice el menor riesgo posible para el operador o para la fábrica a la hora de la operación.

1.5.7 Normas y estándares

Las normas y estándares de diseño nos permitirán establecer la calidad de un producto que se regirán bajo mediciones estrictas de diversas índoles, como lo pueden ser la seguridad, calidad, etcétera. El diseño estructural de la máquina roladora para ductos cónicos también se someterá a estas normas y serán descritas en este apartado (Córdova, s.f.).

1.5.7.1 Normas de fabricación y calidad. Las normas de fabricación y calidad de una máquina estarán establecidas por las normas ISO 9001, que determina la calidad de fabricación y diseño que debe poseer un producto o servicio, en este caso la máquina roladora para ductos cónicos (ISO, 2015).

1.5.7.2 Normas de seguridad. Esta norma podría clasificarse como la más importante, porque garantizará durante toda la vida útil la seguridad de todos los factores involucrados en el proceso de operación de la máquina. Dentro de la norma ISO 12100 se establece una guía de fabricación de máquinas seguras para la industria, considerando riesgos como:

- ✓ Riesgos mecánicos
- ✓ Riesgos eléctricos
- ✓ Peligros térmicos
- ✓ Peligros de ruidos
- ✓ Peligros causados por no incluir sistemas ergonómicos en la máquina (PILZ, s.f.).

1.5.7.3 Normas de diseño. ASME dentro de sus normas habla sobre el diseño estructural, mecánico y eléctrico de una máquina, siendo ASME BTH-1 la protagonista de regular estos estándares de diseño mecánico. La norma ASME BTH-1 es una condición necesaria más no suficiente para hacer a nuestra máquina, una herramienta de calidad y segura, es decir, se deben juntar diferentes criterios normalizadores como ASME B30.20 para lograr ese cometido (**ASME, 2023**).

1.5.7.4 Normas eléctricas y de seguridad. Las normas eléctricas y de seguridad a las que deben ser evaluadas las máquinas son regidas por NEMA, que es la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos. Estas normas dan un aporte al diseño, la fabricación y la distribución de elementos eléctricos de una máquina o sistema (**Toledano, 2023**).

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología.

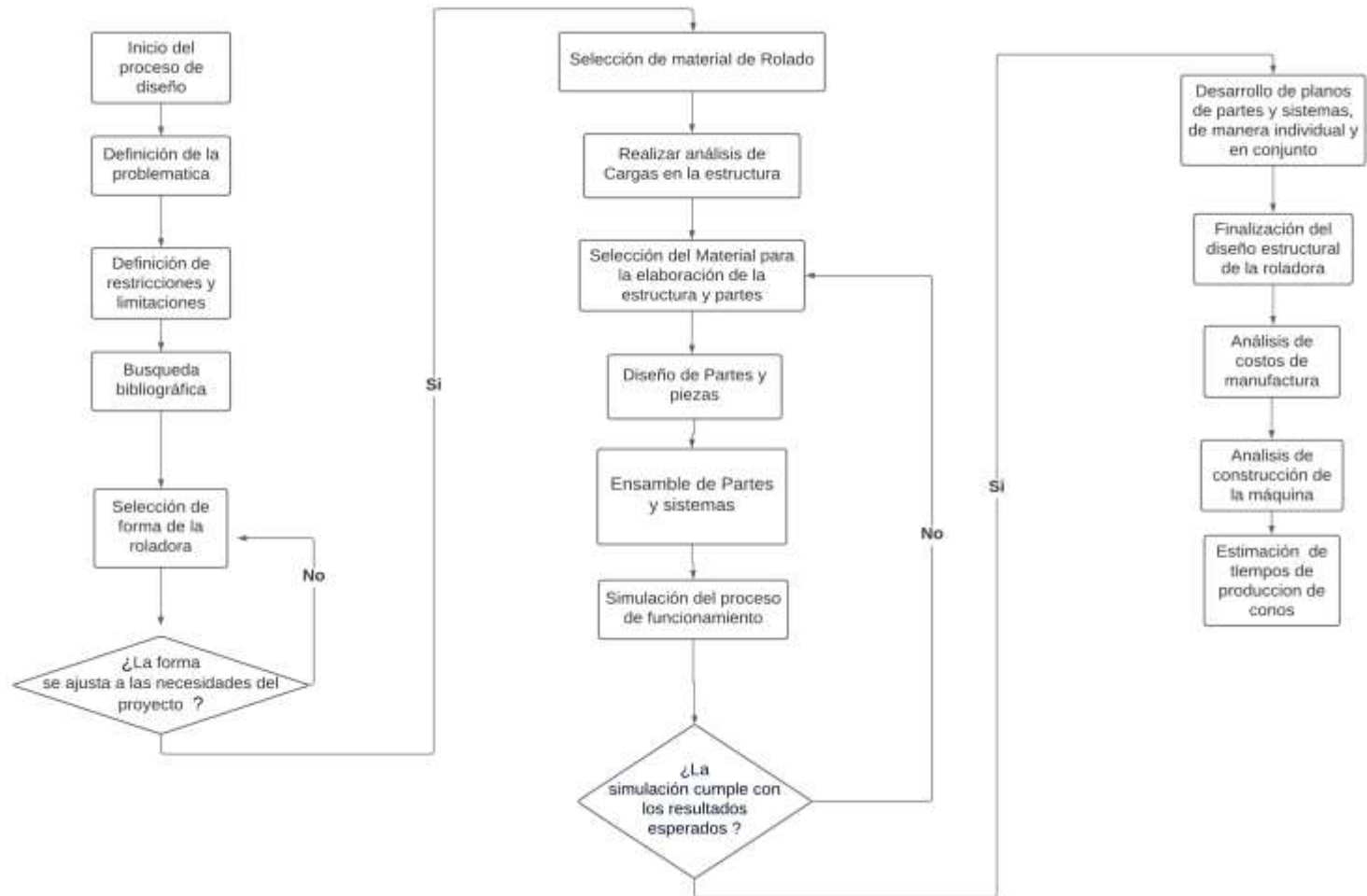
Se presentó a profundidad una de las propuestas de solución o alternativa al cliente del taller metalmecánico ERMARLO S.A. Para ello, se realizó un reconocimiento de los requerimientos del cliente, considerando todos los factores de importancia que envuelven al diseño de una máquina roladora cónica.

Iniciamos con la visita al taller, donde se revisó el estado actual y problemas que posee el equipo. La máquina roladora actual cuenta con rodillos cilíndricos que dificultan el rolado de conos, mencionando que se rola de manera manual, necesitando mano de obra considerable a la hora de maquinar espesores superiores a 6mm. Posteriormente, se plantearon los factores de influencia que afectarían al diseño de una máquina roladora para ductos cónicos, los cuales fueron extraídos en base a lo que el taller requiere. Así mismo, se identificaron a partir de los criterios establecido, se evaluaron alternativas de solución. Entre estas, se estableció como principal referencia que deba cumplirse; capacidad de rolado de hasta 6mm de espesor para trabajos en planchas metálicas que cumplan las normativas locales y además de bajo costo de construcción.

2.2 Diagrama de proceso del proyecto

Para el desarrollo del proyecto, se establecieron varios pasos que nos permitirán con su ejecución pertinente hasta alcanzar la propuesta final, en la figura 14 se presenta el diagrama del proceso del proyecto.

Figura 14 Flujograma del proceso de diseño



Dentro del proceso de diseño, se destacó la importancia de llevar a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica. Este aspecto adquiere particular relevancia debido a la escasa disponibilidad de información en el ámbito nacional respecto a roladoras para ductos cónicos, lo que constituyó una limitante significativa en términos de acceso a datos relevantes.

Por otro lado, al tratarse de un diseño estructural, es decir, orientado a la conceptualización de una máquina roladora cónica, se enfocará principalmente en el análisis de cargas mediante simulaciones en software ingenieriles. No se contempla, en esta etapa del proceso, la ejecución física de la construcción de la máquina. En su lugar, se presentarán planos de diseño detallados, así como planos de construcción acompañados de una ficha técnica que reflejará las características y parámetros operativos fundamentales de la máquina proyectada.

2.3 Requerimientos del cliente

Durante la visita al Taller del cliente, se identificaron varios factores críticos de diseño del equipo, entre ellos, se necesita que la maquina trabaje con planchas de espesores hasta 6 mm y ancho de la plancha como máximo 1.2 m, siendo los rangos referenciales de las planchas metálicas a nivel comercial. Otro de los requerimientos establecido por el cliente fue que la maquina contara con un sistema semiautomático. Actualmente, al ser una maquina manual, el proceso de laminado se convierte en un proceso laborioso para el operador. Por otra parte, se debe considerar que los componentes seleccionados para la maquina deben ser fácil reemplazo.

Finalmente, considerar mantener las dimensiones de la maquina actual, además que permita el laminado de planchas para la manufactura de componentes cónicos, es un punto muy importante que se debe tener en cuenta durante el diseño.

2.4 Factores importantes para considerar

Dentro del desarrollo del equipo, es crucial considerar los materiales con los cuales estará construido. Es imperativo asegurarse de que el módulo de deformación del material de la máquina siempre sea mayor que el de los materiales a rolar, con el fin de evitar deformaciones y, en el peor de los casos, su ruptura.

Otro aspecto para tener en cuenta es que los parámetros de la máquina deben regirse por factores que influyan directamente en la fabricación de ductos cónicos, tales como la relación de conicidad y el diámetro del cono. Se hizo hincapié en la importancia de diseñar el equipo de manera que sea fácil de utilizar tanto para operadores experimentados como para aquellos nuevos o con menos experiencia.






En este sentido, se enfatizó que las funciones del equipo deben garantizar su accesibilidad y usabilidad por parte de cualquier operador, independientemente de su nivel de experiencia.

2.5 El estado actual de la maquina / problema del equipo

Durante la visita al taller, se llevó a cabo una inspección de la máquina actualmente utilizada en el taller. A través del diálogo con el operador, se logró identificar diversos problemas asociados con dicha máquina. Entre los inconvenientes detectados, se destacan los siguientes:

En la tabla 2, se describe cada parte de la máquina que se consideran prestos a cambio.

Tabla 2 Estado actual de la máquina/ problemas del equipo

Descripción del problema	Visualización del problema	Observaciones
<p>La máquina roladora actual presenta ciertas deformaciones en sus rodillos, debido a las grandes cargas que ha tenido que soportar durante su vida de operación.</p>		<p>A simple vista se puede observar una pequeña deformación en la parte central de los rodillos, donde se asume la concentración de las cargas por manufacturar elementos cónicos.</p>
<p>La máquina roladora posee una limitante al momento de rolar, ya que no se pueden aprovechar al máximo las dimensiones de la roladora.</p>		<p>Las barras mostradas en la figura, sirven de sujetadores para el sistema del tornillo de potencia, lo cual representa una limitante al tiempo de rolar.</p>
<p>Máquina roladora con operación manual.</p>		<p>En la actualidad, la máquina roladora en el taller opera de manera manual, lo que prolonga considerablemente el tiempo de rolado. Esta modalidad requiere una mayor cantidad de mano de obra tanto antes, durante como después del proceso.</p>
<p>Fracturas en componentes del equipo.</p>		<p>Debido a las grandes cargas que la máquina tuvo que soportar al rolar espesores que superan su capacidad, ciertas partes de la maquina como el eje del rodillo superior mostrado en la figura, han sufrido rupturas.</p>
<p>Máquina roladora de rodillos cilíndricos.</p>		<p>La máquina al tener rodillos cilíndricos, deben tener ajustes que permitan el rolado cónico.</p>

Dentro de las descripciones del equipo mostradas en la tabla anterior, se encontraron involucrados diferentes factores de manufactura. En primera instancia, como se requiere un mecanizado de cono, la máquina no cuenta con un sistema de rodillos cónicos que puedan cumplir esta función. El operador o los operadores involucrados se basan en sus habilidades para lograr un acabado aceptable, lo cual técnicamente no es correcto. Por otro lado, tener que ajustar y desajustar los rodillos es algo común en la máquina roladora preexistente dentro del taller, lo que resulta en una pérdida de tiempo en producción, además de la mano de obra.

Se pudo apreciar que la máquina simula el rolado cónico con el ajuste de los rodillos cilíndricos; es decir, en la parte izquierda de la máquina, la altura del rodillo superior es mayor que en el lado derecho, lo que permite tener un ángulo de cono deseado. El rolado en la máquina se realiza de forma manual, ya que no se cuenta con un sistema motor que permita el movimiento de los rodillos "motores".

Asimismo, los trabajos que requieren manufacturar ductos cónicos se han realizado de forma manual, ya que se carece de un motor que permita utilizar la potencia mecánica a favor del rolado. Se puede apreciar uno de los piñones de la máquina, el cual era un tensor de cadena que permitía la transmisión de potencia hacia el piñón conectado en uno de los rodillos cilíndricos de la roladora.

Con esto, se tienen claras las necesidades y requerimientos del cliente con respecto al diseño de una máquina roladora que permita rolar ductos cónicos, involucrando poca mano de obra y optimizando el tiempo en manufactura, además de contar con un sistema de potencia que facilite el rolado de la plancha.

2.6 Alternativas de solución de diseño

Dentro de las alternativas de solución se presentaron los alcances que tendrá la máquina roladora para manufacturar los ductos cónicos, los cuales son la capacidad de la máquina, eficiencia, mantenibilidad, flexibilidad y adaptabilidad, cumplimiento de normas y regulaciones específicas.

En base a los requerimientos del cliente, se requiere una máquina roladora de 3 rodillos, donde 2 rodillos sean móviles y uno fijo. Que tenga una capacidad de rolar hasta 6mm de espesor con una plancha de dimensión estándar de hasta 1.20m de ancho.

Esta alternativa de solución fue tentativamente aceptada por el cliente, porque cuenta con los rodillos en forma cónica que permitirán lograr un acabado deseado. (ver tabla 3)

Tabla 3 Factores de influencia

FACTORES INFLUENCIA	DESCRIPCIÓN
Capacidad	La máquina roladora trabajará hasta con 6mm de espesor de plancha y dimensiones estándares de mercado de hasta 1.20m.
Costos	En comparación de la máquina manual, se tendrá un costo elevado por selección de motores y dimensiones para soportar capacidades mayores.
Eficiencia	La velocidad de rolado estará limitada en base a los espesores y propiedades del material a rolar.
Operabilidad	La operabilidad de la máquina dependerá del tipo de trabajo que se requiera.
Precisión de rolado	Con respecto a las dimensiones de la máquina, la manufactura de los conos se establecerá por partes.

Los criterios de selección para la máquina roladora 3, nos permitirá la comparación de nuestras 3 alternativas de diseño existentes, para ello usaremos el *método de selección de calificación ponderada*, se presentará a continuación en la tabla 4:

Tabla 4 Criterios de selección para la máquina roladora para ductos cónicos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	DESCRIPCIÓN
Capacidad de rolado	Permitirá la manufactura de un cono completo en menos partes, según las dimensiones de este.
ajustabilidad de rodillos	En base a la conicidad y forma de rodillos, se realizarán los ajustes de manera más precisa.
rigidez y estabilidad	Permitirá el rolado de piezas con un espesor considerable sin que sufra fatigas.
Operabilidad	Es de fácil manejo para el operador, no requiere mano de obra excesiva.
Precisión de rolado	La manufactura de conos tendrá un acabado más estético y preciso.
Velocidad de rolado	Permitirá una optimización en el tiempo de manufactura.
Mantenimiento	Planes sencillos de mantenimiento.
Seguridad	No debe poner en riesgo la seguridad del operador.
Costos	Debe ser el menos costoso en cuestión de diseño y construcción.
Normativas	Cumplir con las normativas de rolado existentes.

Una vez descrito los criterios que nos ayudarán con la selección de la mejor alternativa, se procedió con la ponderación de estos en base a lo que indica el método de calificación ponderada (ver tabla 5 y 6).

Tabla 5 Factor de importación criterio de selección

FACTOR IMPORTANCIA	
1	Baja importancia
2	Media importancia
3	Muy importante

Tabla 6 Comparación por pares para máquina roladora para ductos cónicos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Capacidad de rolado	ajustabilidad de rodillos	rigidez y estabilidad	Operabilidad	Precisión de rolado	Velocidad de rolado	Mantenimiento	Seguridad	Costos	Normativas	Calificación	Peso
Capacidad de rolado	_____	3	2	1	2	2	2	2	2	3	19	0.13
ajustabilidad de rodillos	3	_____	2	1	1	1	1	2	2	2	15	0.10
rigidez y estabilidad	2	2	_____	1	2	1	1	2	2	1	14	0.09
Operabilidad	1	1	1	_____	2	1	1	1	1	1	10	0.07
Precisión de rolado	2	1	2	2	_____	2	2	1	2	2	16	0.11
Velocidad de rolado	2	1	1	1	2	_____	1	2	2	1	13	0.09
Mantenimiento	2	1	1	1	2	1	_____	2	2	1	13	0.09
Seguridad	2	2	2	1	1	2	2	_____	2	2	16	0.11
Costos	2	2	2	1	2	2	2	2	_____	2	17	0.11
Normativas	3	2	1	1	2	1	1	2	2	_____	15	0.10
TOTAL											148	1.00

La tabla 6 mostró el resultado de la evaluación de pares con respecto a los requerimientos del cliente, esto nos ayudará en pasos previos a elegir la mejor opción de diseño.

Se puede destacar, que los criterios de selección ganaron más peso en la evaluación de pares, tienen que ver con el tema de capacidad de rolado, costos de construcción, fácil

mantenimiento y seguridad para el operador. Estos criterios con mayor peso serán puestos a consideración de prioridad a la hora de realizar los diseños estructurales.

Se establecieron criterios para evaluar la selección de propuestas de solución, como se muestra en la tabla 7, presentando tres tipos de máquinas roladoras disponibles en el mercado. Utilizando la matriz del método de selección de calificación ponderada, se determinó que la solución más viable en términos de costos, capacidad de rolado, seguridad y ajustabilidad de rodillos es una máquina roladora de 3 rodillos semiautomática.

Tabla 7 Matriz de decisión para máquina roladora

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Peso	Máquina roladora 3 rodillos semiautomática	Máquina roladora de 4 rodillos semiautomática (cónica)	Máquina roladora de 3 rodillos automática (Cónica)			
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Capacidad de rolado	19	2	38	3	57	3	57
ajustabilidad de rodillos	15	3	45	2	30	2	30
rigidez y estabilidad	14	2	28	2	28	3	42
Operabilidad	10	3	30	1	10	1	10
Precisión de rolado	16	1	16	3	48	3	48
Velocidad de rolado	13	2	26	3	39	3	39
Mantenimiento	13	3	39	1	13	1	13
Seguridad	16	3	48	2	32	2	32
Costos	17	3	51	1	17	1	17
Normativas	15	2	30	3	45	3	45
TOTAL PONDERACIÓN			351		319		333
RANGO			1		3		2

La elección de las alternativas se basó en los requerimientos del cliente, que no busca una máquina roladora para ductos cónicos con dimensiones y capacidades exageradas, sino más bien una máquina sencilla pero operable que cumpla con la demanda dentro del taller metalmecánico.

La segunda propuesta de diseño consistía en diseñar una máquina roladora con 4 rodillos semiautomática, pero se descartó debido a problemas de costo y dimensiones. Por otro lado, la tercera máquina roladora de 3 rodillos automática cumple con todas las necesidades del cliente. Sin embargo, su diseño se considera a largo plazo como una mejora de la primera propuesta de diseño.

2.7 Cálculos preliminares

Dentro del diseño estructural de la máquina roladora para manufacturar ductos cónicos, se tuvieron en consideración factores muy importantes e influyentes que tienen que ver mucho con el material que se va a utilizar como materia prima para las tolvas de los mixers.

Para poder determinar la capacidad de rolado de la máquina, debemos ligarla con las propiedades mecánicas de la materia prima para manufacturar la tolva, se presentaron en las tablas 8, 9, 10 y 11 propiedades mecánicas y dimensiones para los diferentes materiales de planchas que son muy comunes dentro del taller para manufacturar.

Tabla 8 Propiedades mecánicas de la plancha A36

PROPIEDADES MECÁNICAS A36	
Límite elástico [Mpa]	Límite de resistencia [Mpa]
250	400-500

Nota: Información extraída de (Metinvest, s.f.)

Tabla 9 Medidas estándar de la plancha A36

DIMENSIÓN	ESPELOR (mm)	PESO KG POR UNIDAD
1.22mtx2.44mt	2.00mm	46,73
1.22mtx2.44mt	3.00mm	70,10
1.22mtx2.44mt	4.00mm	93,47
1.22mtx2.44mt	6.00mm	140,20

Nota: Información extraída de (Reiproacero, s.f.)

Se presentaron las propiedades mecánicas (tabla 8) y dimensiones de uno de los materiales (tabla 9) comúnmente utilizados en la manufactura de tolvas de carga, conocido comercialmente como plancha negra (acero A36).

En la tabla 10 se muestran los valores de las propiedades mecánicas para el acero inoxidable, un material que se utiliza moderadamente en la elaboración de tolvas de carga dentro del taller. Se destaca un límite elástico menor, que, durante el proceso de manufactura, implica que es fácil exceder la capacidad de la máquina al realizar el rolado.

Tabla 10 Propiedades mecánicas del acero inoxidable

PROPIEDADES MECÁNICAS A 304	
Límite elástico [GPa]	Límite de resistencia [GPa]
190-210	460-110

Nota: Información extraída de (Grumeber, 2021)

En la tabla 11 se muestran las dimensiones estándar para la plancha A304 acero inoxidable. Vale destacar que son medidas establecidas bajo normas.

Tabla 11 Dimensiones estándar de las planchas de acero inoxidable.

DIMENSIÓN	ESPEJOR	PESO KG POR UNIDAD
1.22 x 2.44	0.5	11.89
1.22 x 2.45	0.7	16.65
1.22 x 2.46	1	23.78
1.22 x 2.47	1.5	35.67
1.22 x 2.48	2	47.56
1.22 x 2.49	3	71.34
1.22 x 2.50	4	95.12
1.22 x 2.51	6	142.68

Nota: Información extraída de (Reiproacero, s.f.)

En base a esta información, podremos establecer un análisis más profundo referentes a cálculos y diseño estructural para la máquina roladora.

Nos guiaremos en base a las propiedades de cada material usado en el taller para la manufactura de estas estructuras de forma cónica como lo son las tolvas para los *mixers de concreto*¹

¹ Se denominan “mixers de concreto” a un camión equipado con una hormigonera.

También se le conoce comúnmente como camión hormigonera, transmixer, camión mezclador o agitador (I, 2015)

Ahora, una de las partes más importantes de este diseño girará en torno a los rodillos cónicos. Aquí se estimaron ciertos cálculos como la relación de conicidad, ángulo de conicidad, dimensiones del rodillo y dimensiones a las que se quiere llegar a manufacturar.

En la ecuación 2.1 se expresa una relación entre los diámetros mayores (D_{mayor}), diámetros menores (D_{menor}) y longitud (L) del rodillo que tendrá forma de cono truncado.

- *Relación de conicidad:*

$$C = \frac{D_{mayor} - D_{menor}}{L} \quad (2.1)$$

$$C = \frac{168.3 \text{ cm} - 80.15 \text{ cm}}{120 \text{ cm}}$$

$$C = 2:1 \text{ conicidad}$$

La relación de conicidad representa una variación en los diámetros con respecto a la longitud total. Esto nos permitirá laminar los ductos cónicos con mayor facilidad, ya que buscamos diseñar los rodillos en forma de cono (ecuación 2.2).

- *Ángulo de conicidad:*

$$\theta = 88.15^\circ \text{ estándar} \quad (2.2)$$

El ángulo de conicidad mostrado en la ecuación 2.2, es una medida estándar que tienen las tolvas para que el material se deslice sin generar obstrucción de material.

Se establecieron los diámetros iniciales para los rodillos cónicos, ahora se procedió a realizar el análisis de la fuerza necesaria para doblar una lámina común usada para la manufactura de las tolvas. Para ello necesitaremos el área transversal que será trabajada en la máquina.

$$A_T = \text{ancho de plancha} \times \text{espesor de plancha} \quad (2.3)$$

$$A_T = 1.20m \times 0.006m$$

$$A_T = 0.0072 \text{ m}^2$$

Donde A_T se denomina área transversal de la plancha a manufacturar.

Con el área transversal de la plancha y su módulo de elasticidad, se obtiene la fuerza mínima requerida para deformar el material con el rodillo.

$$F_{\text{deformación}} = \sigma \times A_T \quad (2.4)$$

$$F_{\text{deformación}} = 250MPa \times 0.0072 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{deformación}} = 1800KN$$

$$F_{\text{deformación máxima}} = 2880KN$$

Donde $F_{\text{deformación}}$ es la fuerza de deformación que se necesitará para deformar la plancha, σ representa el límite de fluencia del material.

La fuerza de deformación máxima se la trabajó con el límite de resistencia máximo del material.

Con esto, también se agregará el cálculo del ángulo del rodillo, que girará en torno a los diámetros mayores y menores del rodillo, así como también su longitud L. Ver ecuación 2.5.

$$\alpha = \arctan \left(\frac{D_M - D_m}{L} \right) \quad (2.5)$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{0.168 - 0.08}{1.20} \right)$$

$$\alpha = 88,18^\circ$$

Vale destacar, que se convirtió el resultado de radianes a grados.

Así mismo, dentro del proceso de laminado en frío, existen fuerzas de torsión, las cuales se describieron de la siguiente forma.

$$T = 0.5 * F_{deformación} * L \quad (2.6)$$

Donde se tiene que:

T es la fuerza de torsión en el proceso de laminado

L la longitud de contacto en el proceso de rolado

F_{deformación} es la fuerza de deformación

$$T = 0.5 * 1800KN * 1.20m$$

$$T = 1080 Nm$$

Se obtuvo un momento de torsión que se da en el proceso de rolado, de 1080 Nm
(Esto es simplemente para el material a rolar).

En la ecuación 2.7 se buscó obtener una potencia que el sistema requiere para lograr el rolado del cono con espesores de 6mm.

$$P = 2 * \pi * N * F_{deformación} * L \quad (2.7)$$

Donde:

N es la velocidad de rotación de los rodillos.

Dentro de esta fórmula se requiere la velocidad de rotación de los rodillos.

Se asumió un motor base con potencia de 7.5 KW que permitirá la simplificación de los cálculos.

$$P = 2 * \pi * N * F_{deformación} * L$$

$$N = \frac{P}{2 * \pi * F_{deformación} * L}$$

$$N = \frac{7.5Kw * \frac{KN * m}{s}}{2 * \pi * 1800KN * 1.20m}$$

$$N = 0.00006 \frac{1}{s}$$

Se debe tener en cuenta, que asumir la potencia del motor requerida para el sistema permitirá una mejora continua en la generación de fuerza para asegurar la deformación mínima de la lámina. (López., s.f.).

En la parte de anexos, se presentan los respectivos soportes en simulaciones que verifican los datos teóricos obtenidos. Desde la figura 25 hasta la 36.

Dentro del análisis del tamaño de los rodillos lo determinamos de la siguiente manera, como se muestra en la ecuación 2.8.

$$F_{Deformación} = 2\pi * R * L * \sigma \quad (2.8)$$

Donde:

- F es la fuerza de deformación
- L es la longitud de la zona de deformación en el rodillo
- R el radio de los rodillos
- σ la tensión de fluencia del material

Despejamos R, obteniendo como resultado:

$$R = 18.78 \text{ cm}$$

Dándonos como resultado:

$$D = 37.56 \text{ cm}$$

Dentro de la fuerza del motor, se calculó la fuerza de compresión de los rodillos, en la ecuación 2.9 se describe el proceso y el resultado obtenido en base a cálculos previos.

$$F = \frac{\text{Tensión de fluencia del material} * \text{Área del material}}{2} \quad (2.9)$$

$$F = \frac{250000 \text{ [Pa]} * 0.186^2 \text{ [m]} * \pi}{4} = 6.792 \text{ MPa}$$

La fuerza que se le aplica a la lámina de acero A36 para lograr su deformación plástica, será la fuerza necesaria que la máquina debe producir con la ayuda de los rodillos motores y fijo. El mecanismo de sujeción del rodillo superior tendrá como sistema un tornillo de potencia para el cual se detallan los datos a continuación en la ecuación 2.10.

$$F = P * \tan(\alpha) \quad (2.10)$$

$$F = 1800 \text{ KN} * \tan(45^\circ)$$

$$F = 1800 \text{ KN}$$

El torque necesario para el ajuste, en base a la fuerza de deformación previamente calculada, se obtiene a partir de la ecuación 2.11.

$$\tau = F * r \quad (2.11)$$

$$\tau = 1800 \text{ KN} * 0.30 \text{ m}$$

$$\tau = 540 \text{ KN/m}$$

- τ es el torque necesario para la deformación
- F es la fuerza que se debe alcanzar para la deformación
- r el radio del tornillo

El diámetro mínimo del tornillo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * \tau}{\pi * F_{deformación}}} \quad (2.12)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 3125 \text{ KN/m}}{\pi * 1800 \text{ mPa}}}$$

$$d = 5.03 \text{ cm}$$

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

En esta sección, se presentarán los resultados acompañados de sus respectivos análisis con relación al diseño de la máquina roladora para ductos cónicos. Se ha llevado a cabo una estimación de costos basada en el diseño seleccionado, abordando un análisis de costos centrado en los precios de los materiales de construcción y sus procesos de maquinado correspondientes.

El análisis de costos se extenderá desde el precio de los diferentes tipos de materiales que se utilizarán en la construcción de la máquina hasta los costos asociados al maquinado de piezas específicas y la mano de obra. En el ámbito del diseño estructural, se llevaron a cabo simulaciones que permitieron determinar los esfuerzos y cargas que la máquina, los elementos rodantes y los componentes de transmisión podrían soportar, empleando software ingenieril especializado.

Los costos han sido categorizados en directos e indirectos, donde la mano de obra y los elementos de la máquina adquiridos a través de distribuidores formarán parte de los costos directos. Por otro lado, las piezas maquinadas se incluirán en los costos indirectos.

3.2 Diseño de forma de la máquina roladora para ductos cónicos.

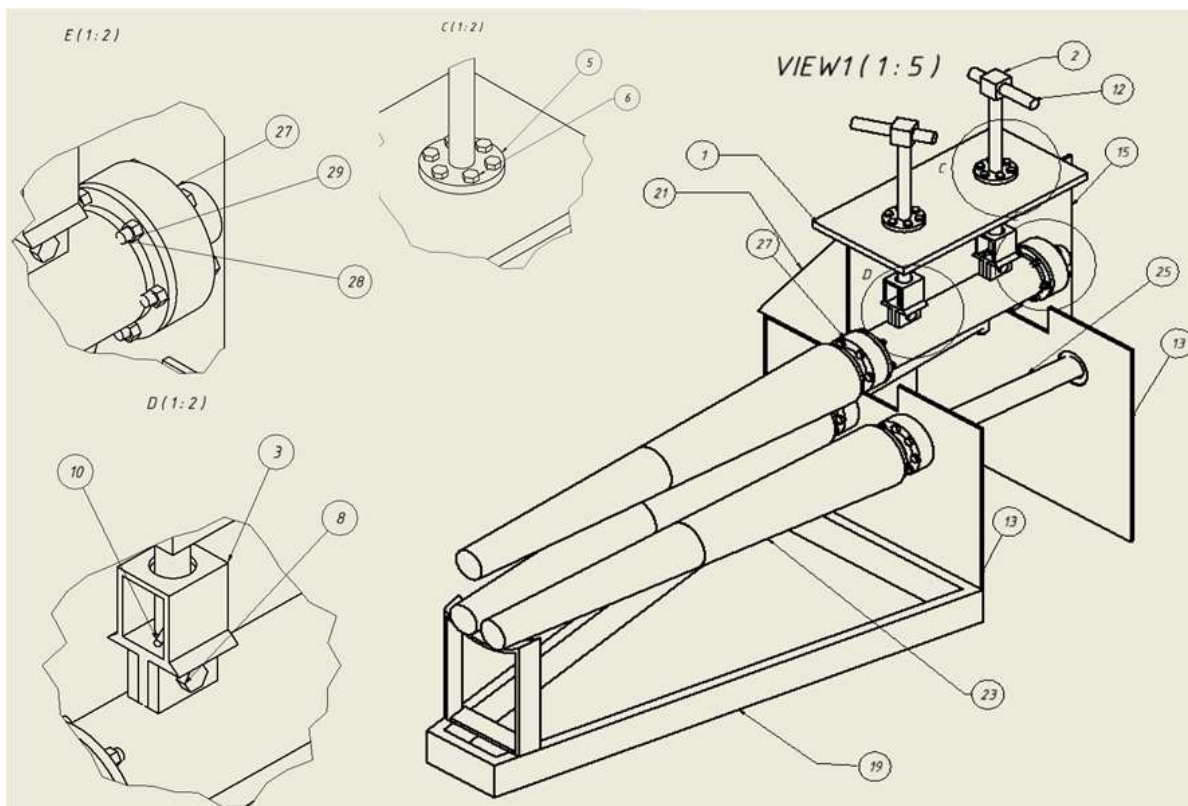
Se ha logrado desarrollar un boceto apropiado que cumple con los requisitos establecidos por el cliente (Ver figura 15). Este modelo presenta una ventaja significativa respecto a otros, ya que incorpora un rodillo ajustable que facilita la extracción de la tolva. En este diseño, se ha considerado cuidadosamente el ángulo de conicidad del rodillo para optimizar su rendimiento.

La máquina ha sido equipada con dos rodillos móviles motorizados y uno fijo encargado de mantener la presión durante el proceso de rolado. Los dos rodillos inferiores están vinculados a un sistema de transmisión reductor para garantizar un funcionamiento eficiente.

El modelo seleccionado posiciona los rodillos inferiores a escasos centímetros del suelo, estrategia que permite que la carga que la máquina pueda soportar se distribuya parcialmente a través del suelo sobre el cual se asienta la estructura. Esta configuración contribuye a evitar tensiones innecesarias en pilares y columnas de soporte de la roladora.

En la figura 15 se muestra de forma detallada las partes de la máquina roladora, donde realizan varias vistas en detalles a ciertos puntos del diseño para mayor visualización.

Figura 15 Diseño de forma máquina roladora de 3 rodillos cónicos



En la tabla se detallan las partes principales del diseño, vale destacar que dentro de la misma se pueden visualizar la cantidad de elementos que poseerá la máquina con sus respectivos nombres.

Tabla 12 Partes principales de la máquina roladora

ITEM	PARTES PRINCIPALES MAQUINA ROLADORA	CANTIDAD
1	TOP	1
2	TORNILLO	2
3	cubo tornillo potencia	2
4	tubo A36	1
5	BASE TORNILLO	2
6	PERNO PARA TOP	12
7	TUERCA PERNO PARA TOP	12
8	SUJECCIÓN SUPERIOR	2
9	TUERCA PARA SUJECCIÓN	2
10	Barra sujetadora potencia	2
11	TAPA TUBO 4.5 in	2
12	torque tornillo	2
13	principal inferior	2
14	BASE ESTRCUTURA SUPERIOR	2
15	LATERALES	2
16	BRIDA INCLINADA IZQUIERDA	1
17	Rodamiento 22312 E 60 x 95 x 46	6
18	BRIDA INCLINADA DERECHA	1
19	base frontal	1
20	placa base	2
21	FRENTERA SUPERIOR	4
22	CONO PARTE 1	3
23	CONO PARTE 2	3
24	MASA SUPERIOR	3
25	BRIDA 2	3
26	PERNO CONO	24
27	BRIDA 3	2
28	PERNO BRIDA	28
29	PERNO	12

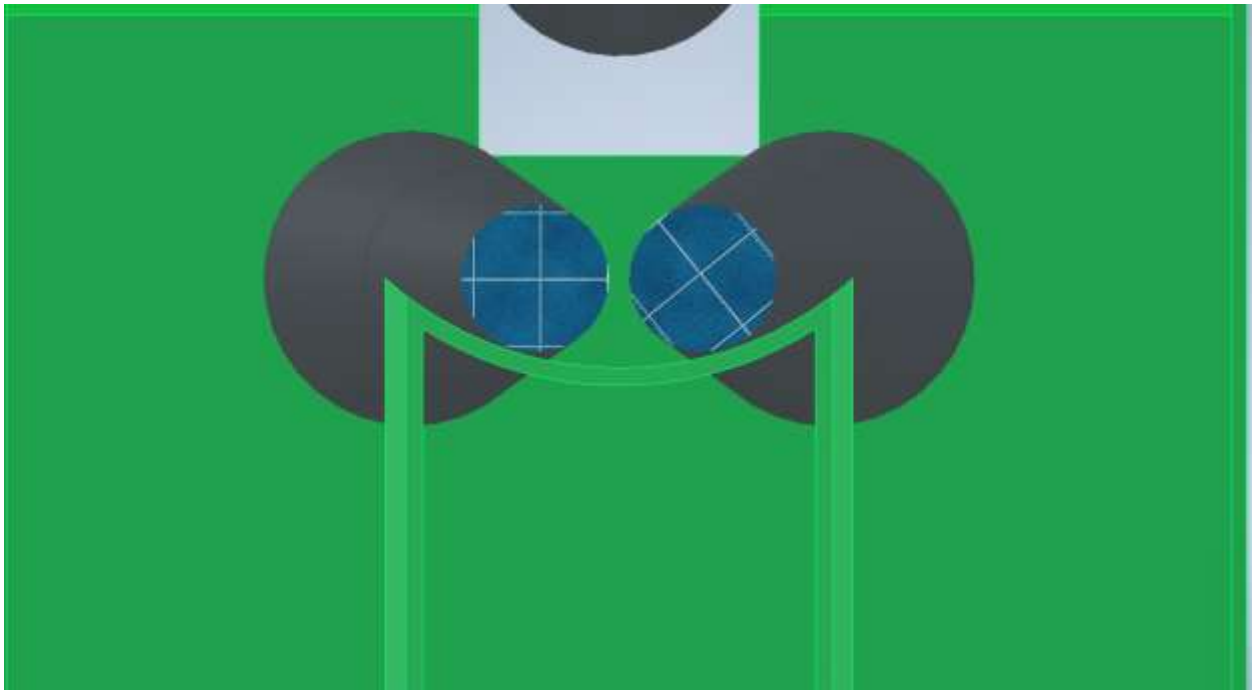
Por otra parte, la selección de rodamientos, sistemas reductores y selección de motor estarán previstos para este capítulo, donde se describirán cada uno de los procesos llevados a cabo.

Una vez tomada la decisión de optar por la opción 1 en la matriz de decisión, en consonancia con los requisitos del cliente, se inició el proceso de diseño en el software INVENTOR para las piezas y componentes representativos de la máquina roladora.

La estructura general o bancada ha sido concebida con un diseño que facilita la distribución de la carga en puntos estratégicos, con el objetivo de prevenir la fatiga en los elementos y partes críticas de la máquina.

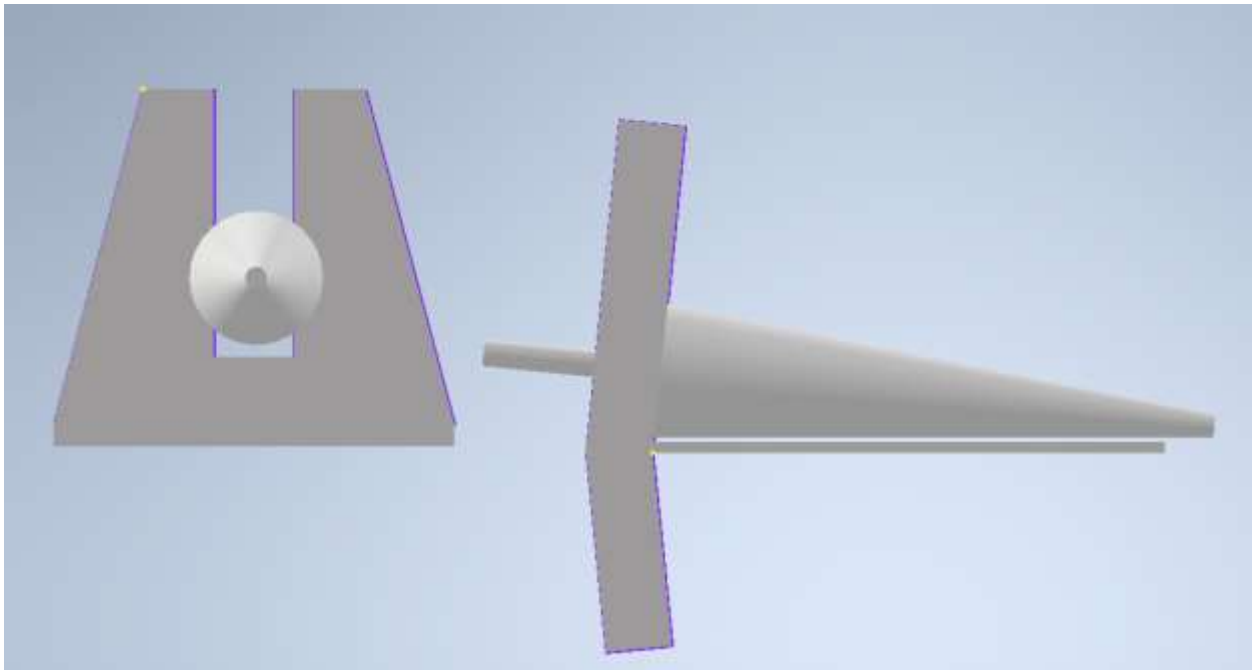
Se llevó a cabo el diseño de tres rodillos cónicos con dimensiones apropiadas para el elemento a manufacturar, en este caso, la tolva de carga. Estos rodillos cónicos fueron integrados en la bancada de la máquina con un ángulo complementario equivalente al cono de estos (3.4°), lo que posibilita una convergencia deseada, como se ilustra en la figura 16.

Figura 16 Convergencia de los rodillos cónicos.



Se demostró que, al ajustar el rodillo al ángulo del cono, es posible lograr un área de contacto óptima para el trabajo. En esta configuración, las cargas actúan de manera uniforme a lo largo del área de contacto, lo que simplifica el proceso de cálculo para determinar la fuerza de doblado necesaria. Este enfoque garantiza condiciones favorables para la ejecución de los cálculos pertinentes, facilitando así la precisión en la determinación de la fuerza de doblado requerida. (ver figura 17).

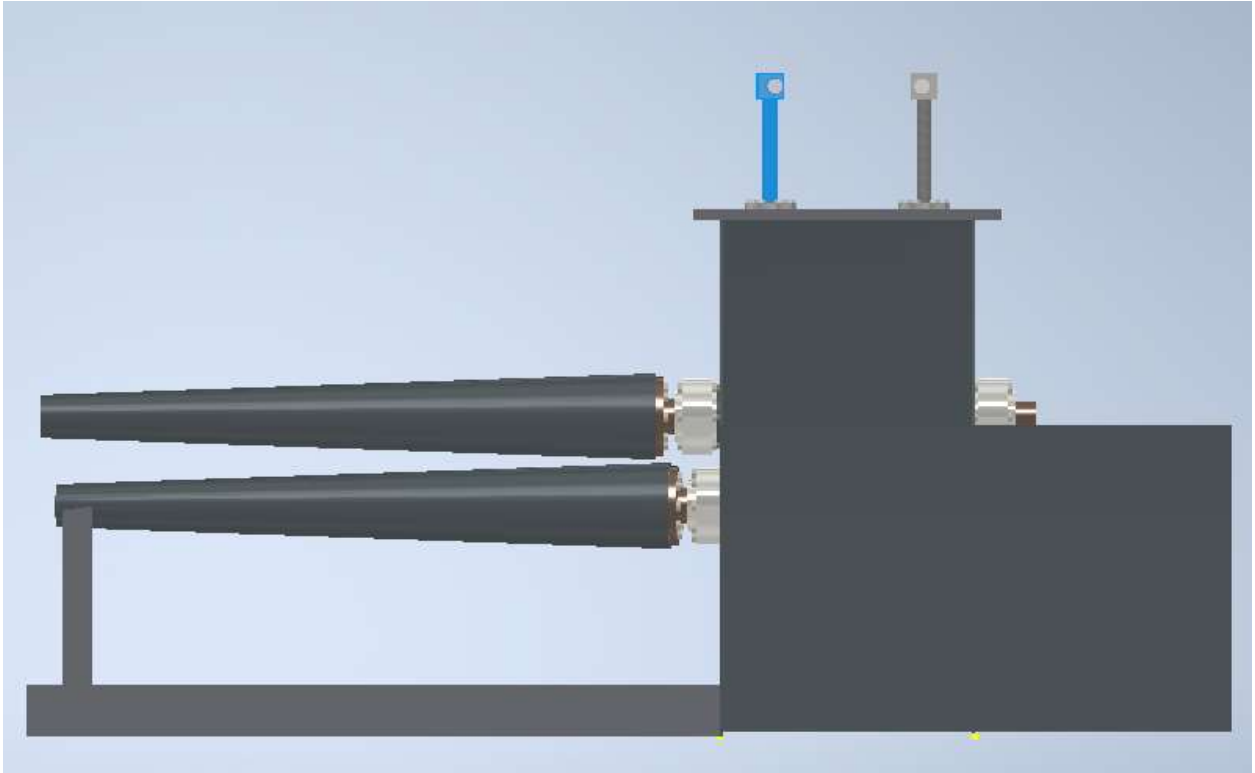
Figura 17 Boceto de estructura (bancada) máquina roladora.



La máquina roladora está equipada con dos soportes diseñados para sustentar el peso de los rodillos, tal como se observa en la figura 18. El primer punto de apoyo se ha incorporado en la parte frontal de la estructura, proporcionando soporte tanto para los dos rodillos inferiores motorizados como para el rodillo superior. Además, el rodillo superior está dotado de un soporte posterior, donde el eje del cono estará sujeto a un sistema de potencia que posibilita el movimiento

a lo largo del eje "Y". Este diseño permite la deformación controlada de la plancha durante el proceso de rolado.

Figura 18 Vista lateral de la roladora cónica.

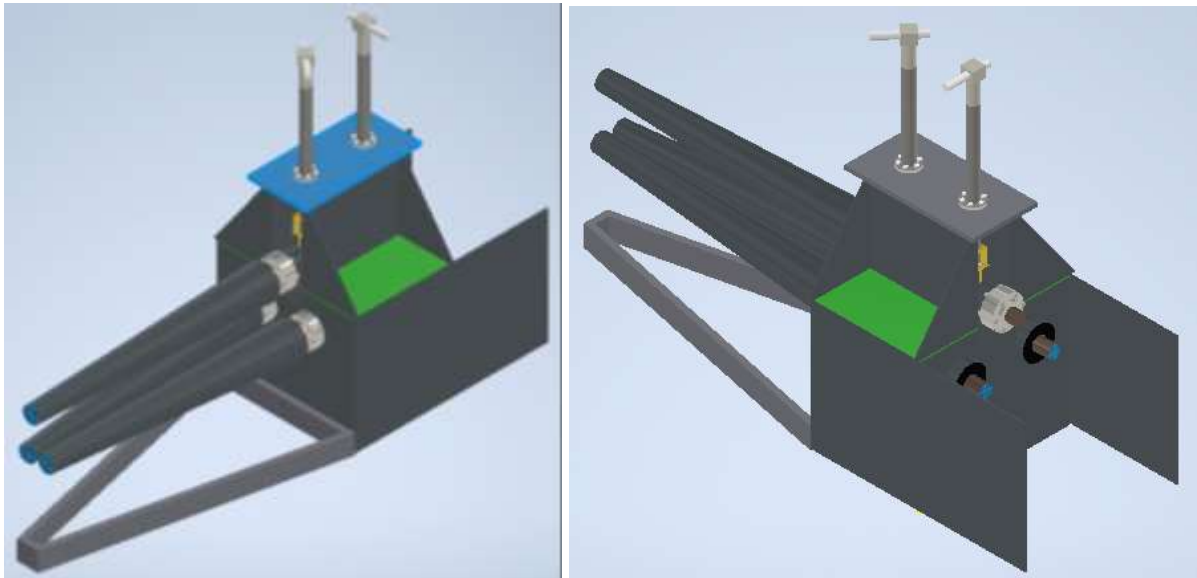


La máquina roladora estará equipada con una estructura trasera que encapsulará el soporte del cono superior y el sistema de transmisión de potencia. Esta estructura estará compuesta por planchas de 8 mm de espesor, garantizando así la solidez necesaria para soportar el peso de los rodillos estáticos y dinámicos.

Los tornillos de potencia permitirán al operador generar el torque necesario para la deformación de la plancha. En otras palabras, mediante la rotación de los tornillos, se logrará aplicar la presión del rodillo cónico sobre la plancha. De manera inmediata, los tornillos motores

iniciarán el proceso de rolado. La figura 19 ilustra cómo se verá la máquina roladora en su diseño final.

Figura 19 Estructura trasera de la roladora (Diseño final 1)



a)

b)

Nota: Figura 19.a representa la vista isométrica de la roladora. La figura 19.b representa la vista posterior de la máquina.

3.4 Análisis de Cargas en el rodillo

El análisis de carga centrado en los rodillos nos posibilitará evaluar la viabilidad de la construcción de este con un material específico, fundamentado en las cargas de trabajo máximas que la máquina deberá tolerar. Es por ello, que se buscó realizar una simulación dentro del software de análisis estructural SkyCiv (SkyCiv, 2023).

En la figura 20, se observan las representaciones de las fuerzas presentes durante el rolado, vale mencionar que el análisis se lo realiza de forma ideal asumiendo un área de contacto plana, omitiendo la conicidad del rodillo.

Los parámetros representativos giran en torno al material y espesor de la plancha a rolar (A36, 6mm).

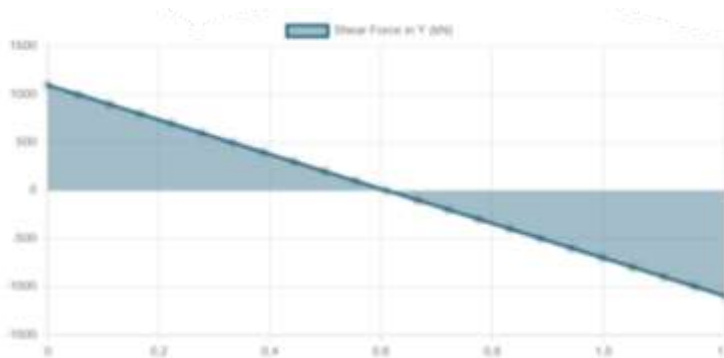
Figura 20 Representación de las fuerzas presentes el momento del rolado en el rodillo de empuje



Nota: Simulación obtenida del software SkyCiv (SkyCiv, 2023).

Así mismo, las fuerzas cortantes que actúan sobre el rodillo utilizando los mismos parámetros de la plancha, se muestran en la figura 21. Las unidades de corte se establecen en KN.

Figura 21 Representación del momento cortante en el rodillo superior.

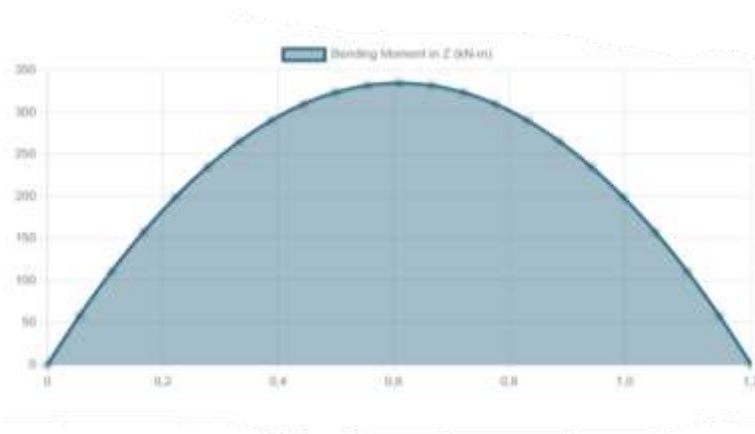


Nota: Simulación obtenida del software SkyCiv (SkyCiv, 2023).

Las fuerzas o cargas que se distribuirán a lo largo de los rodillos cónicos pueden ser representadas por medio del momento flecto.

En la Figura 22 se evidencia un momento flector máximo de 300 kN, el cual representa la capacidad de carga que el rodillo estará en condiciones de soportar durante la operación de rolado.

Figura 22 Representación del momento flector presente en el rodillo superior.



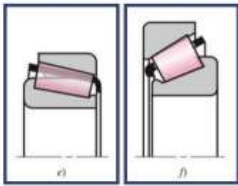

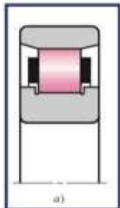
Nota: Simulación obtenida gracias al software SkyCiv (SkyCiv, 2023).

3.5 Sistema generación de movimiento para los rodillos cónicos

Además del sistema de transmisión, la rotación de los rodillos se atribuye a los rodamientos incorporados en su estructura. En este sentido, se lleva a cabo la selección del tipo de rodamiento más apropiado para el trabajo y las cargas asociadas a la máquina roladora.

La Tabla 13 presenta la elección de rodamientos basada en sus características en relación con las cargas que experimentarán en conjunto con la máquina.

Tabla 13 Selección de rodamientos

SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	
	Rodamientos con rodillos cónicos soportarán cargas axiales y de empuje
	Rodamientos con rodillos esféricos, soportarán cargas más pesadas y su área de contacto aumentará a medida que exista más carga.
	Rodamientos con rodillos cilíndricos, poseen una mayor área de contacto, para lograr soportar cargas pesadas.

Nota: información extraída de la página SKF (SKF, 2023)

La selección de rodamientos se los hace en base a la carga que soportará la máquina enfocada en los rodillos. Se estima que la máquina roladora soportará cargas medianas-elevadas debido al espesor de la lámina a rolar (6mm). Es por ello, que se eligieron inicialmente las 3 opciones de rodamientos presentadas.

Ambas soportan cargas elevadas debido a que los rodillos poseen una mayor área de contacto, sin embargo, por cuestiones de costos se elegirán los rodillos cilíndricos.

Dentro de la industria, la selección de los rodamientos para la máquina roladora se lo hace por medio del catálogo variado de SKF. Aquí obtuvo el modelo 22312 E rodamiento de rodillos de rótula con relubricación, ver figura 23.

Figura 23 22312 E rodamiento de rodillos de rótula con relubricación



Nota: Sacado de la página SKF (SKF, 2023)

En la figura 24, se muestran las propiedades que nos brindará el rodamiento en base a la selección realizada.

Figura 24 Propiedades de rodamientos

Rendimiento		Propiedades	
Capacidad de carga dinámica básica	325 kN	Cantidad de hileras	2
Capacidad de carga estática básica	335 kN	Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Sin
Velocidad de referencia	4 000 r/min	Tipo de agujero	Cilíndrico
Velocidad límite	5 300 r/min	Jaula	Chapa metálica
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer	Juego radial interno	CN
		Clase de tolerancia	Normal
		Tolerance class for dimensions	Normal
		Tolerance class for run-out	P5
		Sellado	Sin
		Lubricante	Ninguna
		Característica de relubricación	Con

Nota: información extraída de SKF.com (SKF, 2023)

El rodamiento seleccionado cuenta con un diámetro interno de 60 mm donde se ajustará el eje de transmisión que le dará el movimiento a los rodillos inferiores de la máquina. Así mismo, el diámetro exterior cuenta con 130 mm y 46 mm de ancho.

Se puede apreciar en la figura 24 que los rodamientos tendrán dos hileras, lo que posibilita el soporte eficiente de cargas mayores sin comprometer la integridad del sistema. Esta disposición de dos hileras en los rodamientos contribuye a la capacidad de carga y robustez del conjunto, como se puede apreciar en la ilustración.

En la tabla 14, se mostraron las simulaciones en base a las cargas que el rodamiento pueda soportar durante su vida de funcionamiento en la máquina roladora. Para mayor información el informe generado dentro del programa se presenta en el Anexo A, aquí se describirá ampliamente las informaciones mostradas en la figura 24, tabla 14 y figura 25.

Se ha determinado una carga radial inicial de 10 kN como punto de partida para la realización de los cálculos relativos a la carga mínima, las cargas en los rodamientos, los factores de seguridad y la fricción. Cabe destacar que se han aplicado factores de seguridad superiores a 2, es importante también señalar que la carga radial inicial ingresada (10 kN) es una estimación que excede las posibles cargas que podría experimentar la máquina.

Basándonos en estos resultados, podemos afirmar con confianza que los rodamientos seleccionados son capaces de resistir tanto las cargas dinámicas como las estáticas a las que estará expuesta la máquina.

Se hace la invitación a la parte de anexos donde puede encontrar de forma más detallada el catálogo de la simulación.

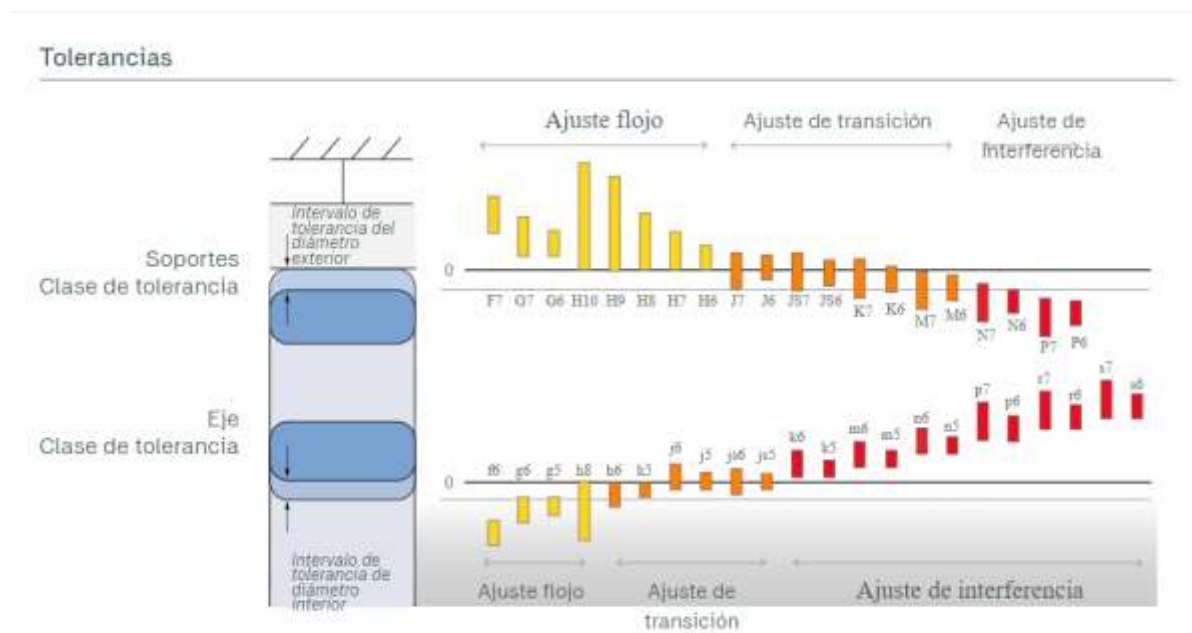
Tabla 14 Simulación para el rodamiento seleccionado 22312 E

SIMULACIÓN EN SKF PARA RODAMIENTOS																																																
DATOS DE ENTRADA	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Fuerzas</th> <th>Velocidad</th> <th colspan="2">Temperatura $^{\circ}\text{C}$</th> </tr> <tr> <td>Rodante (kN)</td> <td>Aro</td> <td>(mm/s)</td> <td>Aro interior</td> <td>Aro exterior</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>70</td> <td>65</td> </tr> </table>				Fuerzas		Velocidad	Temperatura $^{\circ}\text{C}$		Rodante (kN)	Aro	(mm/s)	Aro interior	Aro exterior	15	0	20	70	65	VISCOSIDAD	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Viscosidad de funcionamiento</th> <th colspan="2">Condición de lubricación</th> </tr> <tr> <td>Real</td> <td>Calculado</td> <td>Calculado a 40°C</td> <td>Relación de viscosidad</td> </tr> <tr> <td>ν (mm²/s)</td> <td>ν_f (mm²/s)</td> <td>ν_{40} (mm²/s)</td> <td>κ</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>353</td> <td>> 1000</td> <td>0.07</td> </tr> </table>		Viscosidad de funcionamiento		Condición de lubricación		Real	Calculado	Calculado a 40°C	Relación de viscosidad	ν (mm ² /s)	ν_f (mm ² /s)	ν_{40} (mm ² /s)	κ	28	353	> 1000	0.07										
Fuerzas		Velocidad	Temperatura $^{\circ}\text{C}$																																													
Rodante (kN)	Aro	(mm/s)	Aro interior	Aro exterior																																												
15	0	20	70	65																																												
Viscosidad de funcionamiento		Condición de lubricación																																														
Real	Calculado	Calculado a 40°C	Relación de viscosidad																																													
ν (mm ² /s)	ν_f (mm ² /s)	ν_{40} (mm ² /s)	κ																																													
28	353	> 1000	0.07																																													
PROPIEDADES DEL RODAMIENTO	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">Dimensiones principales</th> </tr> <tr> <td>Díámetro interior</td> <td>Díámetro exterior</td> <td>Ancho</td> </tr> <tr> <td>d (mm)</td> <td>D (mm)</td> <td>B (mm)</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>150</td> <td>46</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Capacidad de carga básica</th> </tr> <tr> <td>Dinámica</td> <td>Estática</td> <td>Carga límite de fatiga</td> </tr> <tr> <td>C (kN)</td> <td>C_0 (kN)</td> <td>P_0 (kN)</td> </tr> <tr> <td>325</td> <td>335</td> <td>36</td> </tr> <tr> <th colspan="3">Clasificaciones de velocidad</th> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>Limitante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>n_{ref} (r/min)</td> <td>n_{lim} (r/min)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>5300</td> <td></td> </tr> </table>			Dimensiones principales			Díámetro interior	Díámetro exterior	Ancho	d (mm)	D (mm)	B (mm)	60	150	46	Capacidad de carga básica			Dinámica	Estática	Carga límite de fatiga	C (kN)	C_0 (kN)	P_0 (kN)	325	335	36	Clasificaciones de velocidad			Referencia	Limitante		n_{ref} (r/min)	n_{lim} (r/min)		4000	5300		CARGAS EN RODAMIENTOS	<table border="1"> <tr> <th>Carga dinámica equivalente</th> <th>Relación de carga</th> </tr> <tr> <td>P (kN)</td> <td>C/P</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>21.67</td> </tr> </table>		Carga dinámica equivalente	Relación de carga	P (kN)	C/P	15	21.67
Dimensiones principales																																																
Díámetro interior	Díámetro exterior	Ancho																																														
d (mm)	D (mm)	B (mm)																																														
60	150	46																																														
Capacidad de carga básica																																																
Dinámica	Estática	Carga límite de fatiga																																														
C (kN)	C_0 (kN)	P_0 (kN)																																														
325	335	36																																														
Clasificaciones de velocidad																																																
Referencia	Limitante																																															
n_{ref} (r/min)	n_{lim} (r/min)																																															
4000	5300																																															
Carga dinámica equivalente	Relación de carga																																															
P (kN)	C/P																																															
15	21.67																																															
CARGA MÍNIMA EQUIVALENTE	<table border="1"> <tr> <th>Requisito</th> </tr> <tr> <td>F_m (kN)</td> </tr> <tr> <td>3.35</td> </tr> <tr> <td>¿Cumplió?</td> </tr> <tr> <td>si</td> </tr> </table>			Requisito	F_m (kN)	3.35	¿Cumplió?	si	VIDA ÚTIL	<table border="1"> <tr> <th>Grasa</th> <th colspan="2">Cantidad de grasa</th> <th>Factor de velocidad</th> </tr> <tr> <td>Intervalo de relubricación</td> <td>Lado</td> <td>Aro</td> <td>Velocidad x diámetro medio</td> </tr> <tr> <td>t_r (h)</td> <td>G_a (g)</td> <td>G_r (g)</td> <td>$n d_m$ (m/min)</td> </tr> <tr> <td>25300</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>2600</td> </tr> </table>			Grasa	Cantidad de grasa		Factor de velocidad	Intervalo de relubricación	Lado	Aro	Velocidad x diámetro medio	t_r (h)	G_a (g)	G_r (g)	$n d_m$ (m/min)	25300	30	12	2600																				
Requisito																																																
F_m (kN)																																																
3.35																																																
¿Cumplió?																																																
si																																																
Grasa	Cantidad de grasa		Factor de velocidad																																													
Intervalo de relubricación	Lado	Aro	Velocidad x diámetro medio																																													
t_r (h)	G_a (g)	G_r (g)	$n d_m$ (m/min)																																													
25300	30	12	2600																																													
CARGA MÍNIMA EQUIVALENTE	<table border="1"> <tr> <th>Carga estática equivalente</th> <th>Factor de seguridad estática</th> </tr> <tr> <td>F_0 (kN)</td> <td>S_0</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>> 20</td> </tr> </table>			Carga estática equivalente	Factor de seguridad estática	F_0 (kN)	S_0	15	> 20	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICA	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Fuente de fricción</th> <th>Pérdida de potencia</th> </tr> <tr> <td>Rodante</td> <td>Deslizamiento</td> <td>Sellos</td> <td>Pérdida por arrastre</td> <td>P_{tot} (W)</td> </tr> <tr> <td>M_r (Nmm)</td> <td>M_d (Nmm)</td> <td>M_{sel} (Nmm)</td> <td>M_{arr} (Nmm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>61.7</td> <td>853</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1.9</td> </tr> </table>			Fuente de fricción				Pérdida de potencia	Rodante	Deslizamiento	Sellos	Pérdida por arrastre	P_{tot} (W)	M_r (Nmm)	M_d (Nmm)	M_{sel} (Nmm)	M_{arr} (Nmm)		61.7	853	0	0	1.9															
Carga estática equivalente	Factor de seguridad estática																																															
F_0 (kN)	S_0																																															
15	> 20																																															
Fuente de fricción				Pérdida de potencia																																												
Rodante	Deslizamiento	Sellos	Pérdida por arrastre	P_{tot} (W)																																												
M_r (Nmm)	M_d (Nmm)	M_{sel} (Nmm)	M_{arr} (Nmm)																																													
61.7	853	0	0	1.9																																												
FRICCIÓN	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Momento de fricción</th> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>Al inicio $20-30^{\circ}\text{C}$ y velocidad cero</td> </tr> <tr> <td>M (Nmm)</td> <td>M_{start} (Nmm)</td> </tr> <tr> <td>915</td> <td>1070</td> </tr> </table>		Momento de fricción		Total	Al inicio $20-30^{\circ}\text{C}$ y velocidad cero	M (Nmm)	M_{start} (Nmm)	915	1070	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Fuente de fricción</th> </tr> <tr> <td>Rodante</td> <td>Deslizamiento</td> <td>Sellos</td> <td>Pérdida por arrastre</td> </tr> <tr> <td>M_r (Nmm)</td> <td>M_d (Nmm)</td> <td>M_{sel} (Nmm)</td> <td>M_{arr} (Nmm)</td> </tr> <tr> <td>61.7</td> <td>853</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		Fuente de fricción				Rodante	Deslizamiento	Sellos	Pérdida por arrastre	M_r (Nmm)	M_d (Nmm)	M_{sel} (Nmm)	M_{arr} (Nmm)	61.7	853	0	0	<table border="1"> <tr> <th>Pérdida de potencia</th> </tr> <tr> <td>P_{tot} (W)</td> </tr> <tr> <td>1.9</td> </tr> </table>	Pérdida de potencia	P_{tot} (W)	1.9																
Momento de fricción																																																
Total	Al inicio $20-30^{\circ}\text{C}$ y velocidad cero																																															
M (Nmm)	M_{start} (Nmm)																																															
915	1070																																															
Fuente de fricción																																																
Rodante	Deslizamiento	Sellos	Pérdida por arrastre																																													
M_r (Nmm)	M_d (Nmm)	M_{sel} (Nmm)	M_{arr} (Nmm)																																													
61.7	853	0	0																																													
Pérdida de potencia																																																
P_{tot} (W)																																																
1.9																																																

Nota: simulación extraída de SKF (SKF, 2023).

Finalmente, la simulación nos arrojó una clase de tolerancia determinada, los cuales son k6 y H8. Estos resultados se obtuvieron en función de la carga dinámica máxima que los rodamientos podrán soportar, teniendo en cuenta su idoneidad para ejes macizos, pero no para ejes huecos.

Figura 25 Tolerancias para rodamientos



Nota: Simulación realizada desde la página de SKF (SKF, 2023).

3.6 Sistema generación de potencia

El sistema de transmisión de la máquina roladora debe ser tal que pueda generar la suficiente potencia para rolar la plancha. Se pensó en adicionar a la máquina 2 motores, uno en cada rodillo inferior. Esto se debe a que la máquina posee cierta inclinación donde no se puede adaptar un motor y su sistema de reducción. Sin embargo, con la ayuda de engranes cónicos, se logró adaptar un solo motor a la máquina. Vale destacar el uso de un reductor que nos ayudará obtener una disminución de velocidad de 1:90 y con ello el aumento del torque. Esto se puede ver más adelante.

Se puede apreciar en la tabla 15, que el motor nos brindará 39.56 Nm de torque y que con la ayuda de la caja reductora se podrán alcanzar los 3560 Nm.

Tabla 15 Características del motor.

	POTENCIA MOTOR	V. ANGULAR	RPM	VATIOS
Torque de la maquina	39.56061369 N.m	10	188.4955592	7457 W 7.5 KW
	precio	1570\$		
	MODELOS	SIMOTICS trifásicos IE3(Eficiencia Premium) 4 polos, 60Hz IP55		
Reducción	90 1	3560.455232	Nm	



Nota: Información tomada del catálogo de SIEMENS (SIEMENS, 2023).

3.7 Sistema de transmisión/reductor

Dentro del proceso de rolado que se llevará a cabo, se busca incrementar el torque inicial que brinda el motor a la máquina roladora. Para ello, se busca diseñar un sistema de reducción de velocidades donde se logra obtener el torque deseado.

En la ecuación 3.1, se muestra el torque inicial de entrada que el motor brindará a la máquina.

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_{in}} \quad 3.1$$

Donde:

- T_m es el torque que entrega el motor
- P_m es la potencia del motor
- ω_{in} es la velocidad angular de entrada del motor

Reemplazando con los datos del motor:

$$T_m = \frac{10HP * 745,7W}{1800RPM * \frac{2\pi * \frac{rad}{s}}{60}}$$

$$T_m = 39.56 Nm$$

Con el motor seleccionado de 10HP y 1800 RPM, se pueden generar 39.56 Nm.

Ahora bien, se busca incrementar ese torque para mover los rodillos inferiores de la máquina roladora, para ello se buscará reducir la velocidad angular y con ello aumentar el torque de salida.

Para el sistema de reducción se usarán una caja reductora, adicionando al sistema de transmisión engranes cónicos con relación 1:1 que faciliten la transmisión de potencia. Para lograr la reducción se elegirán el número de dientes y se buscará una relación de reducción i tal que incremente 90 veces el torque de salida.

Con estas asunciones, se plantea la ecuación 3.2 donde intervienen la velocidad angular de entrada del motor ω_{in} y la velocidad de salida que se requiere ω_{out} .

$$i = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} \quad \mathbf{3.2}$$

Se asume una relación de 1:90 para disminuir la velocidad angular.

$$\frac{1}{90} = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}}$$

$$\omega_{out} = \frac{1800RPM}{90}$$

$$\omega_{out} = 20RPM$$

Se mostrará a continuación, en la ecuación 3.3, el torque de salida a la que girarán los rodillos.

$$T_{out}\omega_{out} = T_m\omega_{in} \quad \mathbf{3.3}$$

$$T_{out} = \frac{T_m \omega_{in}}{\omega_{out}}$$

$$T_{out} = \frac{39.56Nm * 1800RPM}{10RPM}$$

$$T_{out} = 7120.8 Nm$$

Con una reducción de velocidad de 1:90 se obtiene un torque de salida de 7120.8 Nm, 90 veces el torque de entrada (39.56 Nm).

La velocidad angular de salida generará una velocidad lineal que se transmitirá a los rodillos, para ello intervienen los diámetros mayores y menores de los rodillos, D_M y D_m respectivamente. En la ecuación 3.4 se mostrará el procedimiento para obtener la velocidad lineal en m/s.

$$v = \omega_{out} * \frac{D_M}{2} \quad \mathbf{3.4}$$

$$v = 20RPM * \frac{0.186m}{2}$$

$$v = 8.6 \frac{m}{s}$$

$$v = \omega_{out} * \frac{D_M}{2}$$

$$v = 20RPM * \frac{0.084m}{2}$$

$$v = 0.8 \frac{m}{s}$$

En la ecuación 3.4 se obtuvieron las velocidades lineales a las que el rodillo girará durante el rolado, teniendo en cuenta que, debido a diferencias en las dimensiones de los radios, el rodillo no mantendrá una velocidad constante a lo largo del mismo.

3.8 Análisis de costos

Dado que el presente proyecto es de diseño y construcción de un equipo, por lo consiguiente se tienen que establecer los diferentes parámetro incidentes e influyentes en el precio final, por lo cual tenemos que especificar diferentes valores como:

- Costos directos

Material directo

Mano de obra directa

- Costos indirectos

Materiales indirectos

Mano de obra indirecta (Prestadores externos)

A continuación, en la tabla 16 se pueden apreciar los elementos de la máquina y el tipo de material que se usarán para su respectivo maquinado que entran en el grupo de costos indirectos.

Los precios del material dependerán del tipo y del lugar de adquisición, así mismo, el maquinado.

En el proceso de análisis de costos, una opción estratégica y viable consiste en externalizar la manufactura de los componentes o buscar proveedores extranjeros especializados en el desarrollo de equipos similares. Esto implica la producción del equipo en el extranjero con

el propósito de ser posteriormente importado al país de destino. En este contexto, se realizó una exhaustiva investigación en el mercado chino, destacando sus costos de manufactura relativamente bajos como una opción atractiva para nuestra propuesta de diseño.

Dentro de los portales de búsqueda, identificamos "Alibaba" como una plataforma con conexiones directas a proveedores de primera mano. La oferta de modelos en este mercado abarcaba principalmente un rango de precios entre \$4500 y \$10000, variando según la capacidad y características específicas de las máquinas.

Para llevar a cabo una comparación de precios, seleccionamos un equipo con características y capacidades similares, con un valor de \$6800. No obstante, es crucial tener presente que este precio no contempla los costos indirectos asociados al transporte del equipo al país de destino. De acuerdo con las políticas arancelarias vigentes y la legislación de importación de maquinaria manufacturera, se estima un desembolso adicional de aproximadamente \$1500 en concepto de impuestos por el ingreso al país, para maquinaria con un peso inferior a 1 tonelada.

Además, es necesario considerar el costo del transporte, evaluado en alrededor de \$1000, con un plazo de entrega de 45-60 días.

Un aspecto de suma importancia es la imposibilidad de llevar a cabo un control de calidad exhaustivo al adquirir el equipo en el extranjero. Esto aumenta el riesgo de recibir componentes dañados durante el despacho o de sufrir daños durante el transporte hacia el país de destino. Por ende, se debe asignar un valor variable para imprevistos, estimado en \$600. Sumando estos factores, el precio total del equipo importado se sitúa en \$9900.

Reiterando, en la tabla 16 se pueden observar los materiales principales para la máquina roladora que entra en el grupo de costos indirectos. Así, dentro de esto se estiman costos de mano de obra que serán cubiertos por el taller ERMARLO S.A.

Tabla 16 Lista de materiales principales para la construcción de la roladora.

LISTA MATERIALES	CANTIDAD	MATERIAL	MAQUINADO
MASAS PARA CONOS	3	ACERO ESTRUCTURAL	SI
PLANCHAS PARA CONO	1	A36	NA
BRIDA CONO INFERIOR	2	A36	SI
BRIDA CONO SUPERIOR	2	A36	SI
BRIDA SOLDADA A TUBO SAE 1018	2	A36	SI
BRIDA SUJETADORA			
POTENCIA	2	A36	SI
TUBO 4 1/2"	1	A36	NA
EJE MÓVIL CONO INFERIOR	2	SAE 1018	SI
EJE MÓVIL CONO SUPERIOR	1	SAE 1018	SI
PLANCHAS 8 mm PARA ESTRUCTURA	2	A36	NA
TORNILLOS DE POTENCIA	2	A36	SI
SOLDADURA	1		NA
ÁNGULO 1 1/2 x 1/4	2		NA

Por otro lado, dentro de los elementos principales también se encuentran los elementos que le darán movimiento a la máquina, como lo son motores, reductores, transmisiones, rodamientos, etcétera. Es así, que en la tabla 17, se describen estos elementos con sus respectivos costos.

Tabla 17 Elementos generadores de movimiento

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Precio total
MOTOR REDUCTOR SIEMENS	1	2000	2000
PLANCHAS ESTRUCTURA	0	0	0
RODAMIENTOS 22312 E	6	200	1200
REDUCTOR	0	0	0
	Subtotal	3200	12% IVA
		Total	\$ 3584

Para llevar a cabo una comparativa de precios, se procedió a solicitar cotizaciones para todos los elementos detallados en la tabla 16. A través de la colaboración con talleres metalmeccánicos en la ciudad de Guayaquil, se recopilaron valores que servirán como base para proyectar los costos de construcción de la máquina roladora. Los precios obtenidos de estos elementos se reflejan en la tabla 18.

Tabla 18 Cotización del mecanizado de partes principales de la roladora

LISTA MATERIALES	CANTIDAD	MATERIAL	PRECIO	TOTAL
		ACERO		
MASAS PARA CONOS	3	ESTRUCTURAL	325	975
PLANCHAS PARA CONO	1	A36	200	200
BRIDA CONO INFERIOR	2	A36	180	360
BRIDA CONO SUPERIOR	2	A36	180	360
BRIDA SOLDADA A TUBO SAE 1018	2	A36	240	480
BRIDA SUJETADORA				
POTENCIA	2	A36	65	130
TUBO 4 1/2"	1	A36	60	60
EJE MÓVIL CONO INFERIOR	2	SAE 1018	95	190
EJE MÓVIL CONO SUPERIOR	1	SAE 1018	95	95
PLANCHAS 8 mm PARA ESTRUCTURA	2	A36	165	330
TORNILLOS DE POTENCIA	2	A36	120	240
SOLDADURA	1		16	16
ÁNGULO 1 1/2 x 1/4	2		22	44
			SUBTOTAL	3480
			IVA	12%
			TOTAL	
			\$	3897.6

Estos valores detallados en la Tabla 18, exhiben los valores del mecanizado de las piezas de manera individual, además de proporcionar un total que incluye los impuestos. Es importante resaltar que estos precios son de índole nacional y no corresponden a importaciones.

Finalmente, los costos totales asociados a la construcción de la máquina roladora se presentan de manera integral en la Tabla 19.

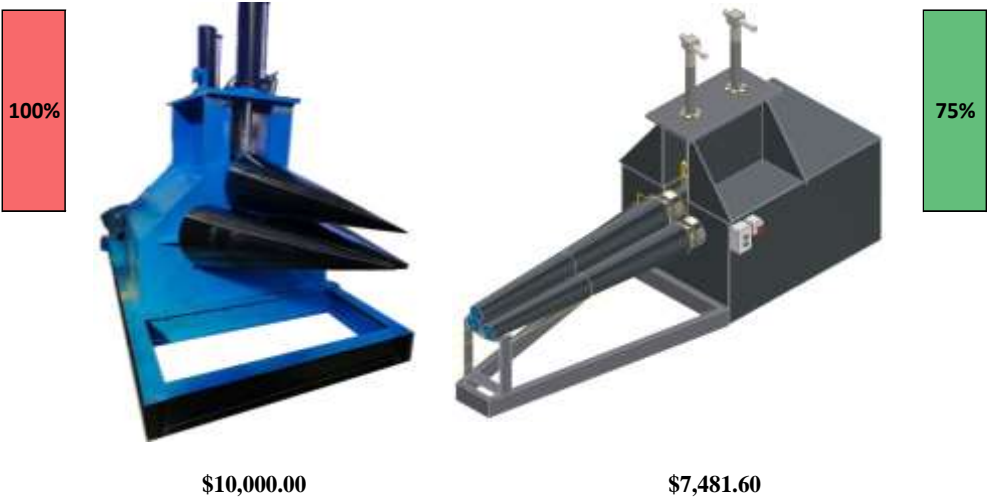
Tabla 19 Costos finales

COSTOS TOTALES	
Generadores movimiento	3584
MECANIZADOS	3897.6
	\$
TOTAL	7481.6

Un claro objetivo es tener un costo bajo en construcción comparado con precios de importación internacional. Se busca garantizar costos equivalentes al 70% del precio de una máquina roladora de similares características cotizadas en el mercado internacional, así se muestra en la figura 23.

Figura 23

Análisis comparativos de costos.



Nota: Máquina roladora de 3 rodillos obtenida en Alibaba (Alibaba, 2023).

En la figura precedente, se lleva a cabo un análisis comparativo del diseño estructural de la máquina roladora para ductos cónicos con una máquina de características similares. Esta

última incorpora 3 rodillos accionados de manera motora, diferenciándose principalmente por su sistema de accionamiento hidráulico.

Asimismo, los precios de la máquina modelo, según las referencias encontradas en las páginas de compra citadas, varían en un rango que va desde los \$10,000 hasta los \$20,000, dependiendo de la capacidad ofrecida al cliente. Adicional a eso, una máquina importada siempre tendrá un valor agregado por entrada al país, ya que se generan costos por peso.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

El diseño estructural de la máquina roladora para la manufactura de ductos cónicos permitió establecer la viabilidad de construcción a un mediano plazo en el taller ERMARLO S.A. Es decir, dentro de todo el estudio abarcado se compararon los resultados obtenidos con otras máquinas roladoras de similares características, logrando así la elección del diseño propuesto al cliente.

4.1.1 Conclusiones

- A través del análisis de cargas, se ha determinado que a lo largo del rodillo superior se ejercerán fuerzas de 1098 kN al aplicar presión sobre la plancha a laminar. Este proceso permite imponer un factor de seguridad de construcción mínimo de 5:1 sobre los resultados obtenidos mediante el software de análisis. Asimismo, este análisis ha posibilitado la selección del material de construcción para los rodillos como acero A36, con un espesor de 14 mm.
- Basándonos en la capacidad de rolado previamente establecida, se han determinado los materiales de construcción para los elementos que compondrán la máquina roladora de ductos cónicos. En su mayoría, estos elementos estarán fabricados con acero A36, a excepción de los componentes de transmisión.
- El software SkyCiv reafirma que se necesitará una fuerza mínima de 2880 KN para poder deformar la plancha. Paralelamente, el software INVENTOR permitió validar el diseño de la máquina roladora por medio de una simulación de movimiento.

- Dimensionando la estructura y estableciendo el tipo de material que la máquina roladora tendrá, se visualizó un ahorro significativo del 25% en comparación a la importación de un equipo de similares características. Los factores influyentes que permitieron concluir que la construcción de la roladora dentro del país es más factible que la importación, giran en torno a los valores agregados por peso del equipo, impuestos de importación, logística y transportación, costos por instalación; todos estos le dan valor agregado a una máquina roladora construida fuera del país haciéndola no rentable.

4.1.2 Recomendaciones

El diseño estructural de la máquina roladora para ductos cónicos lleva consigo una mejora continua, ya que con el objetivo principal de bajar costos se debe profundizar más en la búsqueda de materiales con su respectivo mecanizado, para lograr así bajar los costos de construcción.

Así mismo, dentro del marco de las mejoras, se busca tener un análisis estructural más completo donde se vea involucrado la parte dinámica de la máquina y los parámetros que consigo llevan. Es decir, considerar todas las variables involucradas que giran respecto a la capacidad de la máquina durante el rolado versus un período de tiempo, con el objetivo de realizar un plan de mantenimiento preventivo más acertado; de igual forma, una selección de materiales para las partes que componen la máquina.

APÉNDICE A

REFERENCIAS

Ávila Balaguera , K., Rodríguez Baracaldo , R., & Espejo Mora, É. (7 de Junio de 2015).

Redalyc.org. Obtenido de Redalyc.org:

<https://www.redalyc.org/journal/750/75047635005/html/>

Aceropedia. (2023). Obtenido de [https://aceropedia.com/definicion/rolado-de-](https://aceropedia.com/definicion/rolado-de-lamina/#:~:text=Proceso%20industrial%20de%20conformado%20al%20acero.&text=Las%201%C3%A1minas%20roladas%20pueden%20ser,doble%20duos%20(Cuatro%20rodillos).)

[lamina/#:~:text=Proceso%20industrial%20de%20conformado%20al%20acero.&text=Las%201%C3%A1minas%20roladas%20pueden%20ser,doble%20duos%20\(Cuatro%20rodillos\).](https://aceropedia.com/definicion/rolado-de-lamina/#:~:text=Proceso%20industrial%20de%20conformado%20al%20acero.&text=Las%201%C3%A1minas%20roladas%20pueden%20ser,doble%20duos%20(Cuatro%20rodillos).)

Alibaba. (2023). *Alibaba.com*. Obtenido de Alibaba.com: [https://spanish.alibaba.com/p-](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Metal-1600945242305.html?spm=a2700.shop_plser.41413.29.57e73fe57c3EWq)

[detail/Metal-1600945242305.html?spm=a2700.shop_plser.41413.29.57e73fe57c3EWq](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Metal-1600945242305.html?spm=a2700.shop_plser.41413.29.57e73fe57c3EWq)

ASME. (2023). *ASME*. Obtenido de ASME: [https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-](https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bth-1-design-hook-lifting-devices)

[standards/bth-1-design-hook-lifting-devices](https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bth-1-design-hook-lifting-devices)

Córdova, U. N. (s.f.). *ayctgu*. Obtenido de ayctgu: [https://ayctgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-](https://ayctgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-2/que-medir/el-establecimiento-del-estandar-o-norma/#:~:text=Est%C3%A1ndar%20o%20norma%20es%20el,a%20trav%C3%A9s%20de%20distintas%20metodolog%C3%ADas.)

[2/que-medir/el-establecimiento-del-estandar-o-](https://ayctgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-2/que-medir/el-establecimiento-del-estandar-o-norma/#:~:text=Est%C3%A1ndar%20o%20norma%20es%20el,a%20trav%C3%A9s%20de%20distintas%20metodolog%C3%ADas.)

[norma/#:~:text=Est%C3%A1ndar%20o%20norma%20es%20el,a%20trav%C3%A9s%20de%20distintas%20metodolog%C3%ADas.](https://ayctgu.eco.catedras.unc.edu.ar/unidad-2/que-medir/el-establecimiento-del-estandar-o-norma/#:~:text=Est%C3%A1ndar%20o%20norma%20es%20el,a%20trav%C3%A9s%20de%20distintas%20metodolog%C3%ADas.)

diquima. (2019). Obtenido de diquima:

https://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICL

ONES/Descr6.htm#:~:text=Descripci%C3%B3n&text=Los%20ciclones%20son%20uno%20de,para%20separar%20s%C3%B3lidos%20de%20l%C3%ADquidos.

García Romero, A. M., & Monasterio Guisasola, N. (2018). *Ehu.Eus*. Obtenido de Ehu.Eus: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/51171/mod_resource/content/0/Tema%206-Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20los%20materiales.pdf

Grumeber. (29 de Abril de 2021). Obtenido de <https://app.bibguru.com/p/670111a7-392a-4255-aa85-555bc4e0e0b1>

I, A. (29 de Septiembre de 2015). *Putzmeister*. Obtenido de Putzmeister:

<https://bestsupportunderground.com/transportar-hormigon-con-camiones-mixer/#:~:text=Un%20cami%C3%B3n%20mixer%20es%20un,transmixer%2C%20cami%C3%B3n%20mezclador%20o%20agitador.>

ISO. (2015). *ISO.ORG*. Obtenido de ISO.ORG: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

KNUTH. (s.f.). *Direct Industry*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/knuth-machine-tools/product-27150-2509426.html>

López., J. J. (s.f.). *Umich.mx*. Obtenido de Umich.mx:

<https://fim.umich.mx/teach/jvillalon/notas/ecuaciones%20laminado2.pdf>

Metinvest. (s.f.). *Metinvestholding*. Obtenido de <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>

MOV, N. N. (s.f.). *Rolado.com.Mx*. Obtenido de Rolado.com.Mx:

<https://rolado.com.mx/#:~:text=El%20rolado%20es%20un%20proceso,forma%20curva%20que%20se%20requiere.>

Panel y acanalados Monterrey. (18 de Abril de 2022). Obtenido de

<https://panelyacanalados.com/blog/que-es-maquina-roladora-de-lamina/#:~:text=La%20m%C3%A1quina%20est%C3%A1%20compuesta%20por,comienzo%20el%20proceso%20de%20rolado.>

PILZ. (s.f.). Obtenido de PILZ: <https://www.pilz.com/es-ES/support/law-standards-norms/iso-standards/mechanic-construction/en-iso-12100>

Reiproacero. (s.f.). *Reiproacero*. Obtenido de Reiproacero:

<https://reiproacero.ec/m/producto/plancha-negra/>

SIEMENS. (2023). *SIEMENS*. Obtenido de

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:52992f13-3654-4300-8600-bea9d2d7f0fc/lista-de-precios-siemens-2022-b-1-.pdf>

SKF. (22 de DICIEMBRE de 2023). *SKF*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings>

SkyCiv. (2023). *SkyCiv*. Obtenido de <https://skyciv.com/es/>

Tecnotanques. (2019). Obtenido de <https://tecnotanques.com/tolva-que-son-y-para-que-sirven/>

The Fabricator. (13 de Septiembre de 2011). Obtenido de The Fabricator:

<https://www.thefabricator.com/thefabricatoren espanol/article/bending/un-resumen-sobre-las-maquinas-roladoras>

Toledano. (16 de septiembre de 2023). *WATTCO*. Obtenido de

<https://www.wattco.com/es/2023/09/compression-de-las-normas-nema/>

UPM. (s.f.). *diquima*. Obtenido de diquima:

https://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Descr6.htm#:~:text=Descripci%C3%B3n&text=Los%20ciclones%20son%20uno%20de,para%20separar%20s%C3%B3lidos%20de%20l%C3%ADquidos.

ANEXOS

ANEXO A

Simulación en SKF de rodamientos.

RODAMIENTO 22312 E

January 07, 2024


SIMULACIÓN 22312 E

SKF

SKF Bearing Select Report 1.3-4014

1. Extracto

Resumen de cálculo



Rodamiento de rodillos a rótula

SKF Explorer

	Grasa	Factor de seguridad estática	Momento de fricción	Pérdida de potencia
Designación	Intervalo de relubricación		Total	
	t_l (h)	S_0	M (Nm)	P_{loss} (W)
■ 22312 E	23300	> 20	915	1.9

Error

Relación de baja viscosidad k , contacto de aspereza total. Utilice el factor de seguridad estática para evaluar el rendimiento de los rodamientos. Se recomienda utilizar aditivos antidesgaste (AW) o de extrema presión (EP) para reducir el desgaste.

Consideración

La vida útil de la grasa/el intervalo de relubricación se reduce según el nivel de contaminación. Una mayor limpieza mejorará la duración.

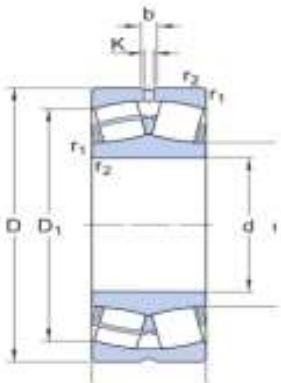
Nota: Extraído de SKF (SKF, 2023).

ANEXO B

Datos de entrada para simulación de rodamientos.

2. Entrada

2.1. Datos del rodamiento



Designación	Tipo de rodamiento	Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Clasificaciones de velocidad	
		d (mm)	D (mm)	B (mm)	Dinámica	Estática		Referencia	Limitante
					C (kN)	C_0 (kN)	P_u (kN)		
■ 22312 E	Rodamiento de rodillos a rótula	60.0	130.0	46.0	325.0	335.0	36.0	4000.0	5300.0

2.2. Cargas, Velocidad and Temperatura

Orientación del eje	Horizontal					
Aro giratorio	Giro del aro exterior					

	Fuerzas		Velocidad	Temperatura		Peso del maletín
	Radial (F_r) (kN)	Axial (F_a) (kN)	(r/min)	Aro interior (°C)	Aro exterior (°C)	
LC1	15.0	0.0	20.0	70	65	1

La temperatura máxima se utiliza para calcular la viscosidad real, $kappa_{SKF}$ y la vida nominal SKF.
La temperatura media se utiliza para calcular la fricción del rodamiento y la pérdida de potencia.

Nota: Extraído de SKF (SKF, 2023).

ANEXO C

Lubricación de rodamientos

2.3. Lubricación						
Designación	Lubricante			Aditivos EP eficaces	Contaminación	
	Tipo	Método	Nombre		Método	Limpieza/Factor
■ 22312 E	Grasa	Grasa SKF	LGMT 2: de uso general aplicaciones industriales y automotrices	False	Guías detalladas	Limpieza normal

2.4. Ajustes y tolerancias					
Designación	Requisitos		Interferencia calculada	Incluir alisado (smoothing)	Dilatación térmica del eje
	Guía	Dirección de carga del aro giratorio			
■ 22312 E	True	giratoria	True	True	False

3. Resultados

3.1. Cargas y seguridad estática				
Designación	Relación de carga	Factor de seguridad estática	Carga dinámica equivalente	Carga estática equivalente
	C/P	S_0	P (kN)	P_0 (kN)
■ 22312 E	21.67	> 20	15.0	15

3.2. Carga mínima en el rodamiento				
Designación	Fuerzas de reacción		Carga mínima equivalente	Requisitos
	Radial	Axial		
	F_r (kN)	F_a (kN)	P_m (kN)	¿cumplió?
■ 22312 E	15.0	0.0	3.35	si

3.3. Condiciones de lubricación				
Designación	Viscosidad de funcionamiento			Relación de viscosidad
	Real	Calculado	Calculado a 40 °C	
	ν (mm ² /s)	ν_1 (mm ² /s)	ν_{rel} (mm ² /s)	κ
■ 22312 E	28.0	353	> 1000	0.07

Nota: Simulación extraída de SKF (SKF, 2023).

ANEXO D

Vida útil y tolerancias de los rodamientos

3.4. Vida útil de la grasa e intervalo de relubricación

Designación	Intervalo de relubricación	Cantidad de grasa		Factor de velocidad
	t_r (h)	Lado	Aro	Velocidad x diámetro medio
		G_p (g)		nd_m (mm/min)
■ 22312 E	23300	30	12	2600

Consideración

La vida útil de la grasa/el intervalo de relubricación se reduce según el nivel de contaminación. Una mayor limpieza mejorará la duración.

3.5. Vida nominal del rodamiento

Error

Relación de baja viscosidad k , contacto de aspereza total. Utilice el factor de seguridad estática para evaluar el rendimiento de los rodamientos. Se recomienda utilizar aditivos antidesgaste (AW) o de extrema presión (EP) para reducir el desgaste.

3.6. Fricción en rodamientos y pérdida de potencia

Designación	Momento de fricción		Fuentes de fricción				Pérdida de potencia
	Total	Al inicio 20-30 °C y velocidad cero	Rodante	Deslizamiento	Sellos	Pérdida por arrastre	
	M (Nmm)	M_{start} (Nmm)	M_{rr} (Nmm)	M_{sl} (Nmm)	M_{seal} (Nmm)	M_{drag} (Nmm)	P_{loss} (W)
■ 22312 E	915	1070	61.7	853	0	0	1.9

3.7. Ajustes y tolerancias

Nota:

Typically, it is not sufficient to use an interference fit alone to axially locate a bearing ring on a cylindrical seat.

3.7.1. Clase de tolerancia recomendada

Designación	Clase de tolerancia	
	Eje	Soporte
■ 22312 E	k6	H8

Consideración

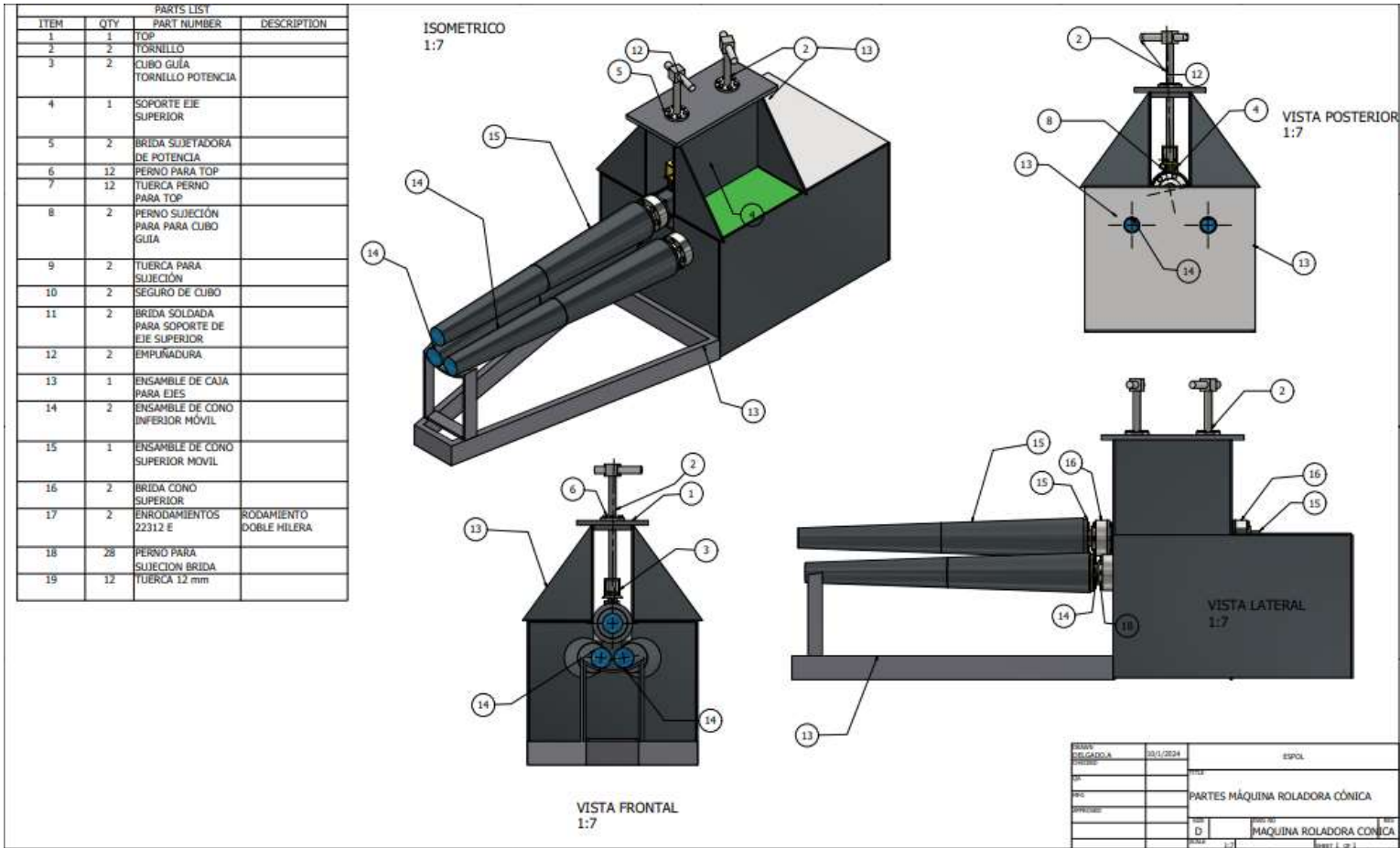
La recomendación para las clases de tolerancia está basada en el caso de carga con la carga dinámica equivalente más alta.

Consideración

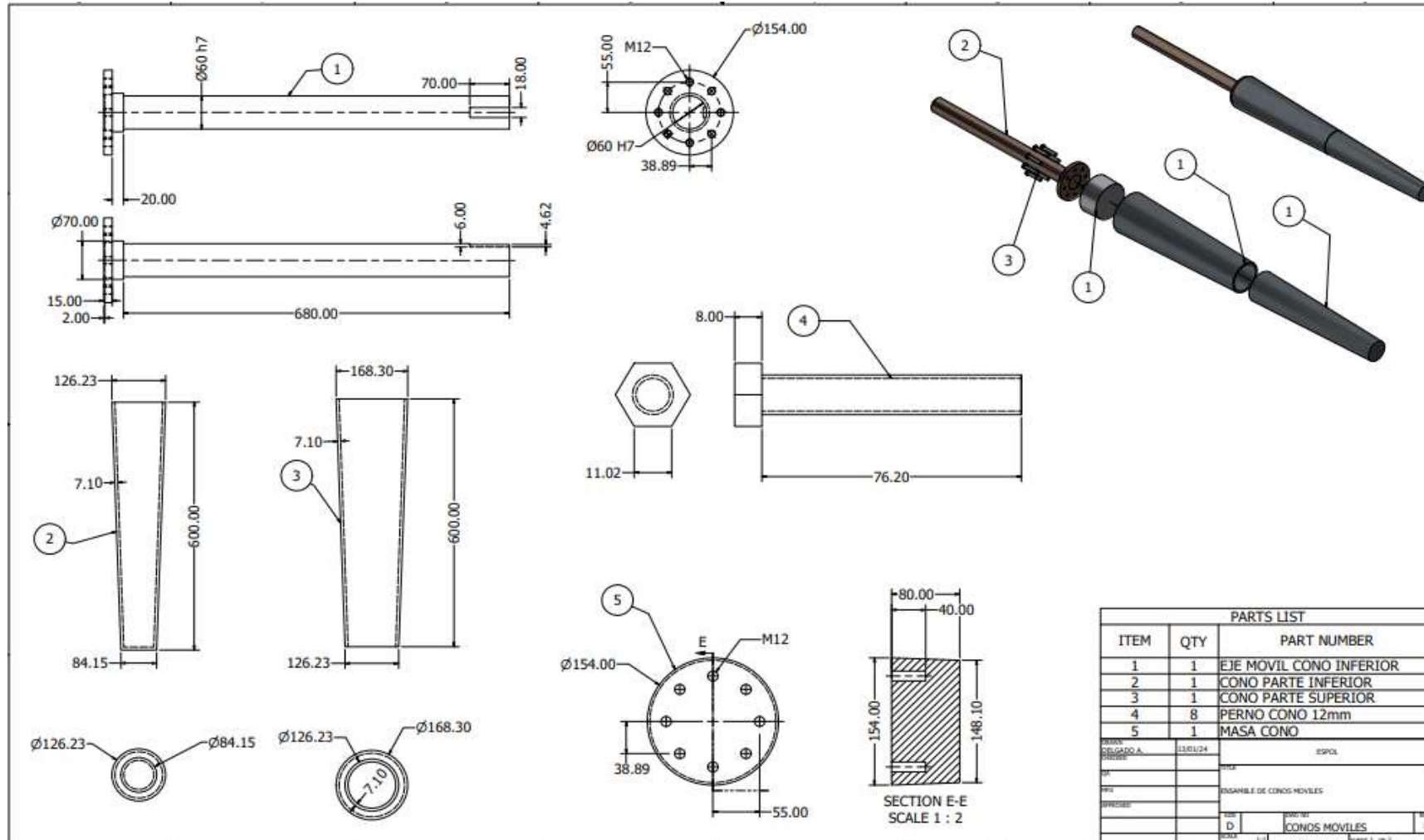
Válido para eje macizo de acero y soportes de acero o fundición partidos o no partidos.

Nota: Simulación realizada en la página oficial de SKF (SKF, 2023)

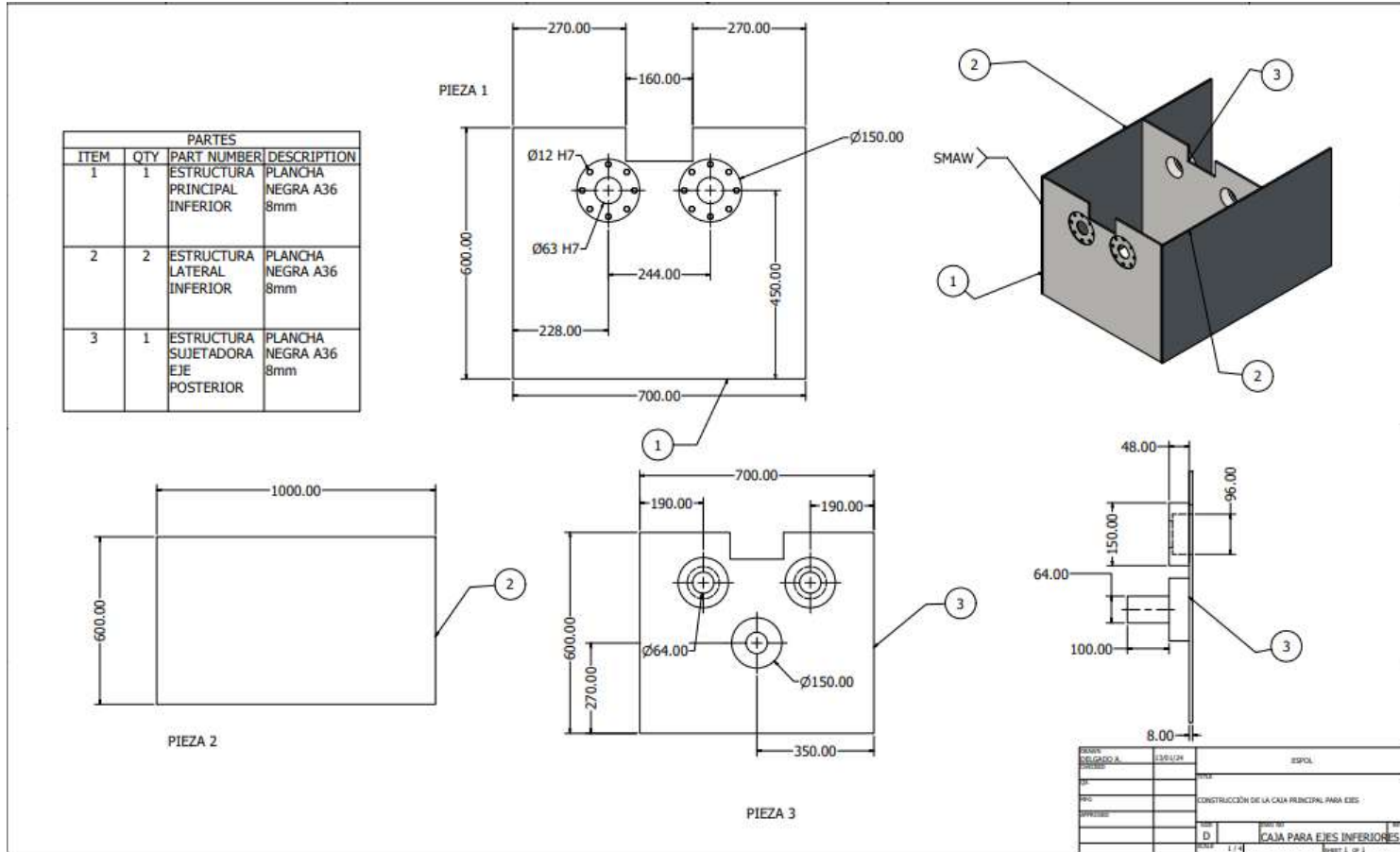
Plano 1



Plano 2



Plano 3



Plano 4

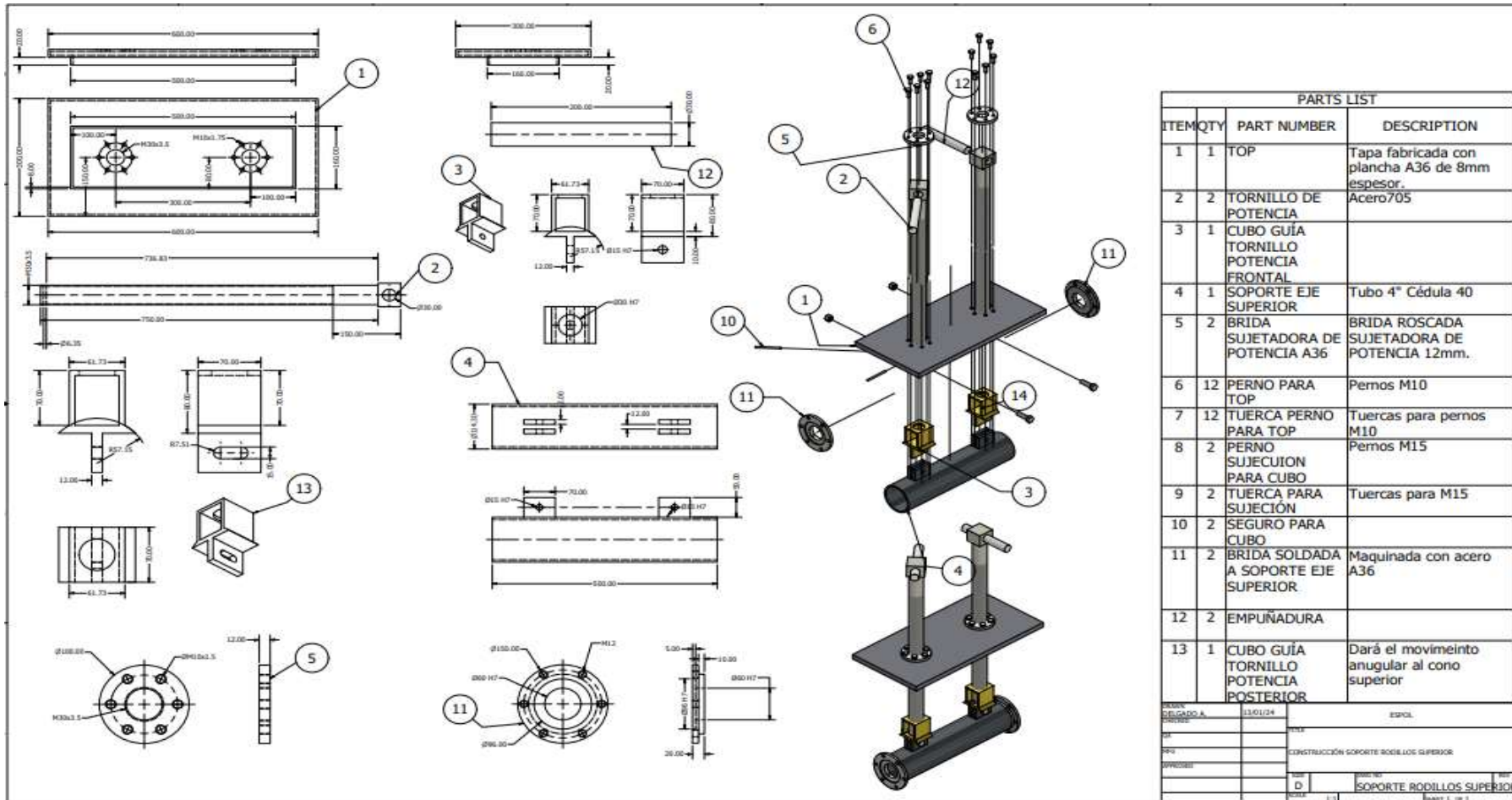


Figura 24 Ficha técnica de la máquina roladora

FICHA TECNICA DE MAQUINA			
MAQUINA/EQUIPO	ROLDAORA DE DUCTOS CONICOS	UBICACIÓN	Taller
FABRICANTE/MARCA		SECCIÓN	MANUFACTURA
MODELO	Roladora de 3 conos	DIMENSIONES	3X2.64 mts
CARACTERISTICA GENERALES			
REGISTRO FOTOGRAFICO		CARACTERISTICAS	
		<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad de rolado entre 2 y 4 mm -Velocidad de rolado 15m/s -Rolado ajustable con tornillos de potencia -Motor de 10 HP -Entrada de voltaje de 220 V 	
		FUNCIONES	
		<ul style="list-style-type: none"> -Realizar el rolado ductos conicos para aplicacion de diferentes tipos de industrias. 	
INSTRUCCIONES DE USO			
<p>-Antes de encender el equipo, aplicar lubricante en los mecanismos interiores. Asegurarse usar EPP, no usar prendas olgadas que se puedan enredar en el rodillos. Colocar el rodillo de tal forma que se logrará adaptar al grosor de plancha a trabajar. Conectar el equipo a la fuente de alimentación, apastar el botón que energiza el mismo, luego preclonar el boton de encendido para que la maquina empiece a girar. De un costado del rodillo ingresar la plancha a rolar, y por el otro lado sacar la plancha y repertir hasta obtener el resultado espera. Cuando ya se haya terminado el proceso o se necesite parar para modificar el ajuste se aprieta el boton de stop y si ya se terminó el trabajo se desemergiza el equipo.</p>			

Figura 25 Simulación que determina el desplazamiento máximo en el eje de transmisión.

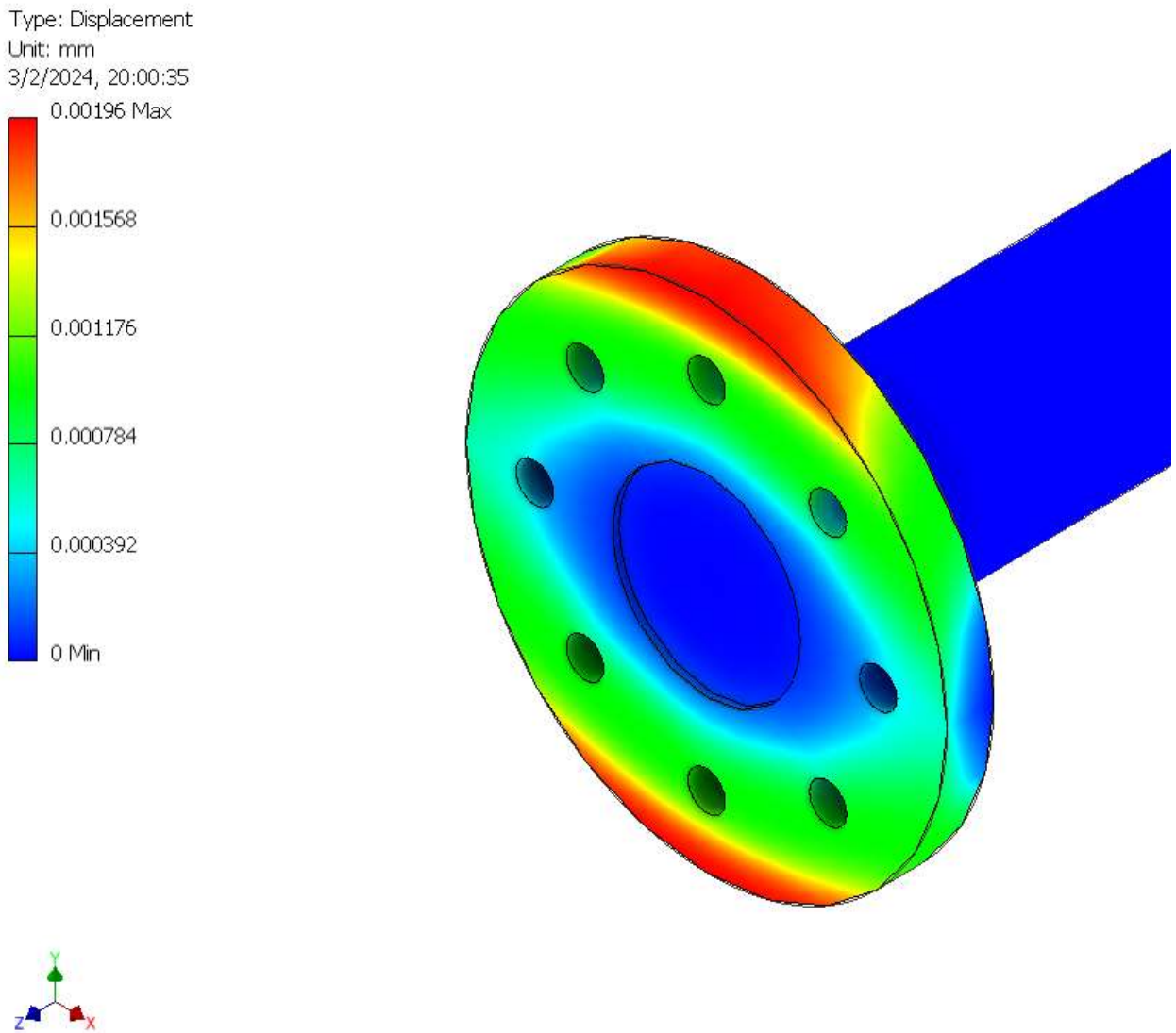


Figura 26 Factor de seguridad en el eje de transmisión.

Type: Safety Factor
Unit: ul
3/2/2024, 20:01:01

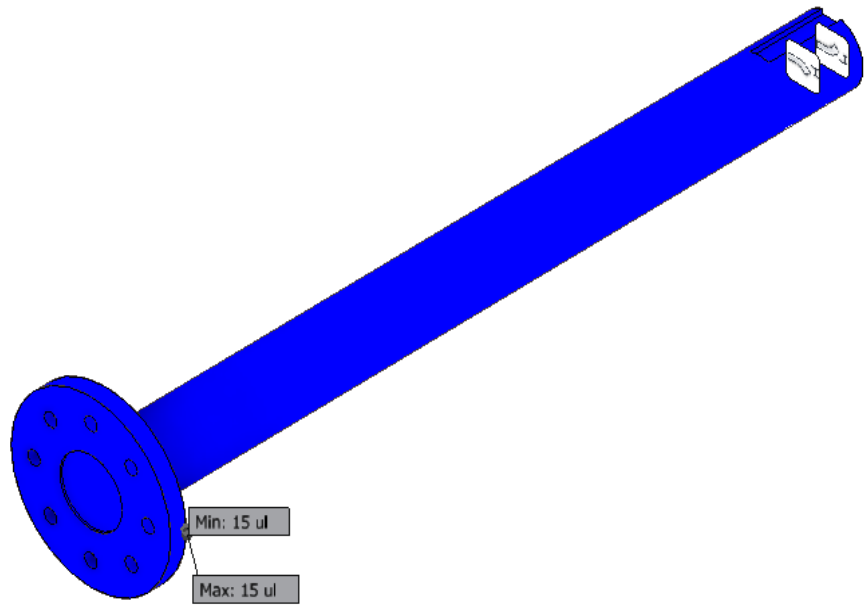
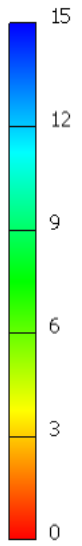


Figura 27 Esfuerzo de Von Mises

Nodes:4979
Elements:2671
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
3/2/2024, 19:58:05

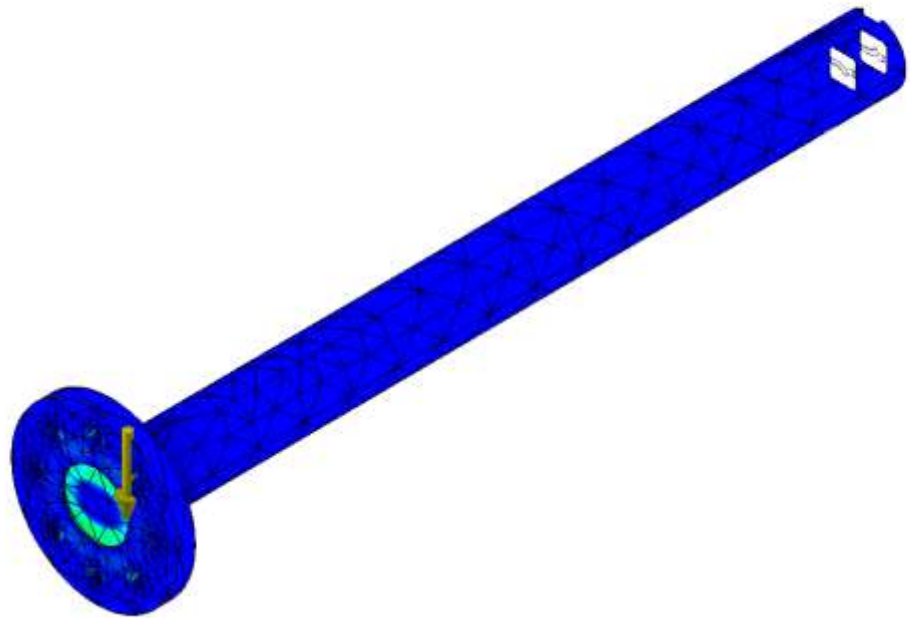


Figura 28 Factor de seguridad en la estructura del rodillo cónico de la máquina

Nodes:1824
Elements:882
Type: Safety Factor
Unit: ul
3/2/2024, 20:07:19

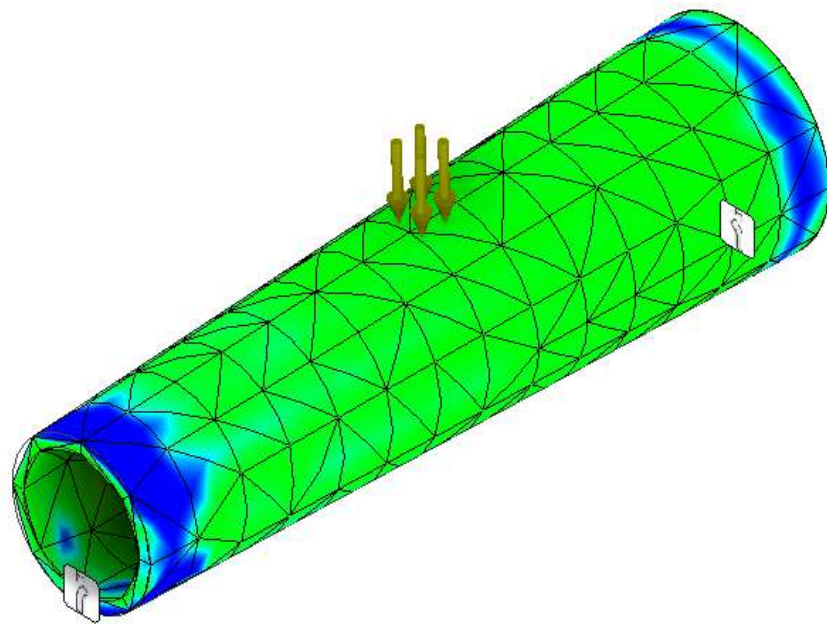
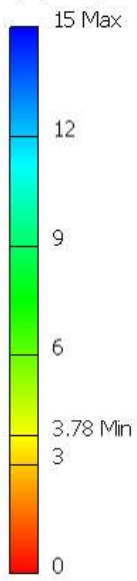


Figura 29 Desplazamiento en la estructura del cono.

Nodes:1824
Elements:882
Type: Displacement
Unit: mm
3/2/2024, 20:07:57

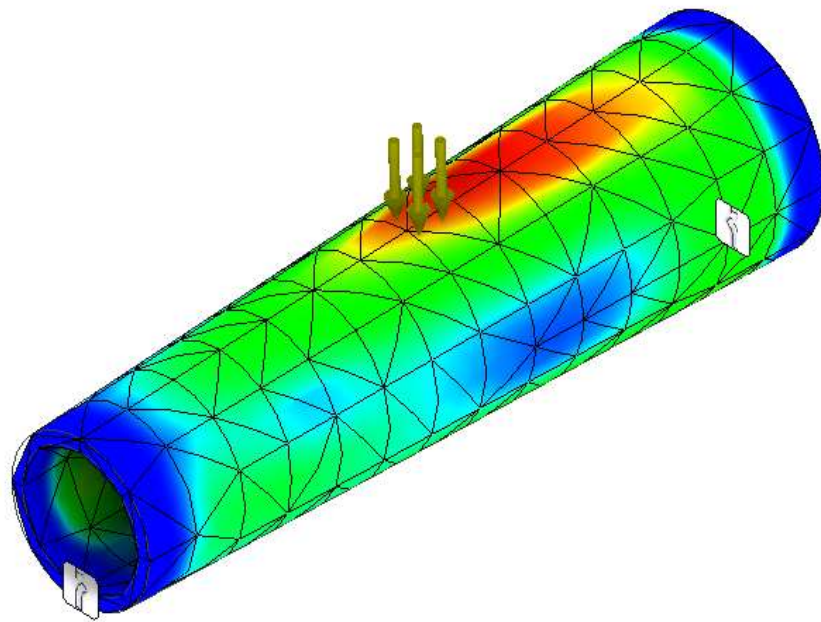
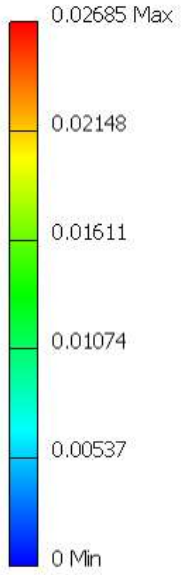


Figura 30 Esfuerzo de Von Mises en estructura del cono

Nodes:1824
Elements:882
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
3/2/2024, 20:08:17

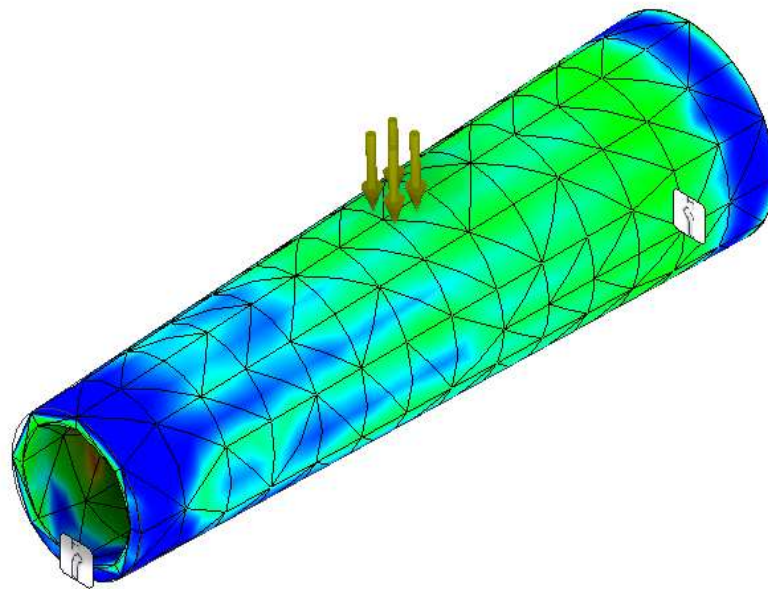
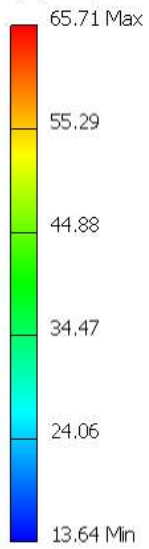


Figura 31 Desplazamiento en estructura del rodillo de la máquina roladora

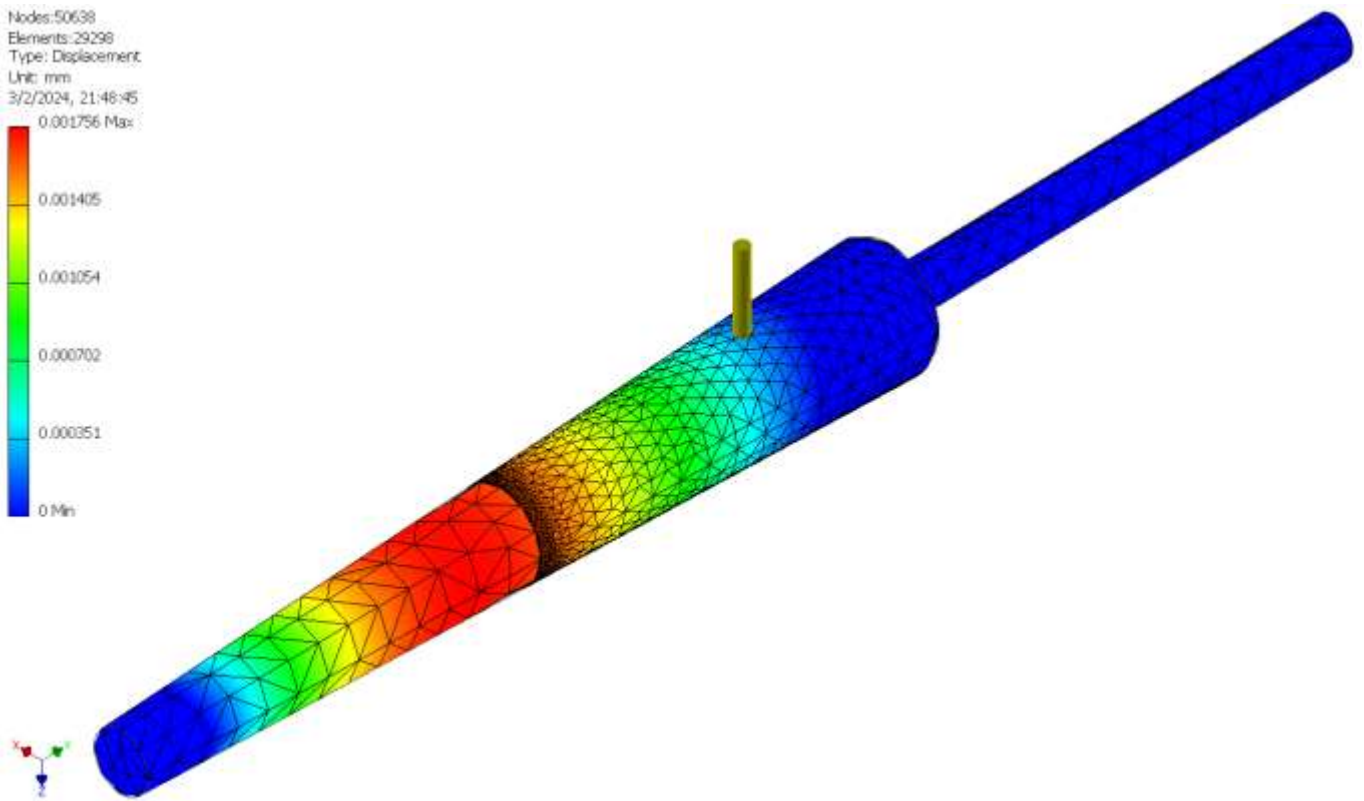


Figura 32 Factor de seguridad en el rodillo de la máquina roladora

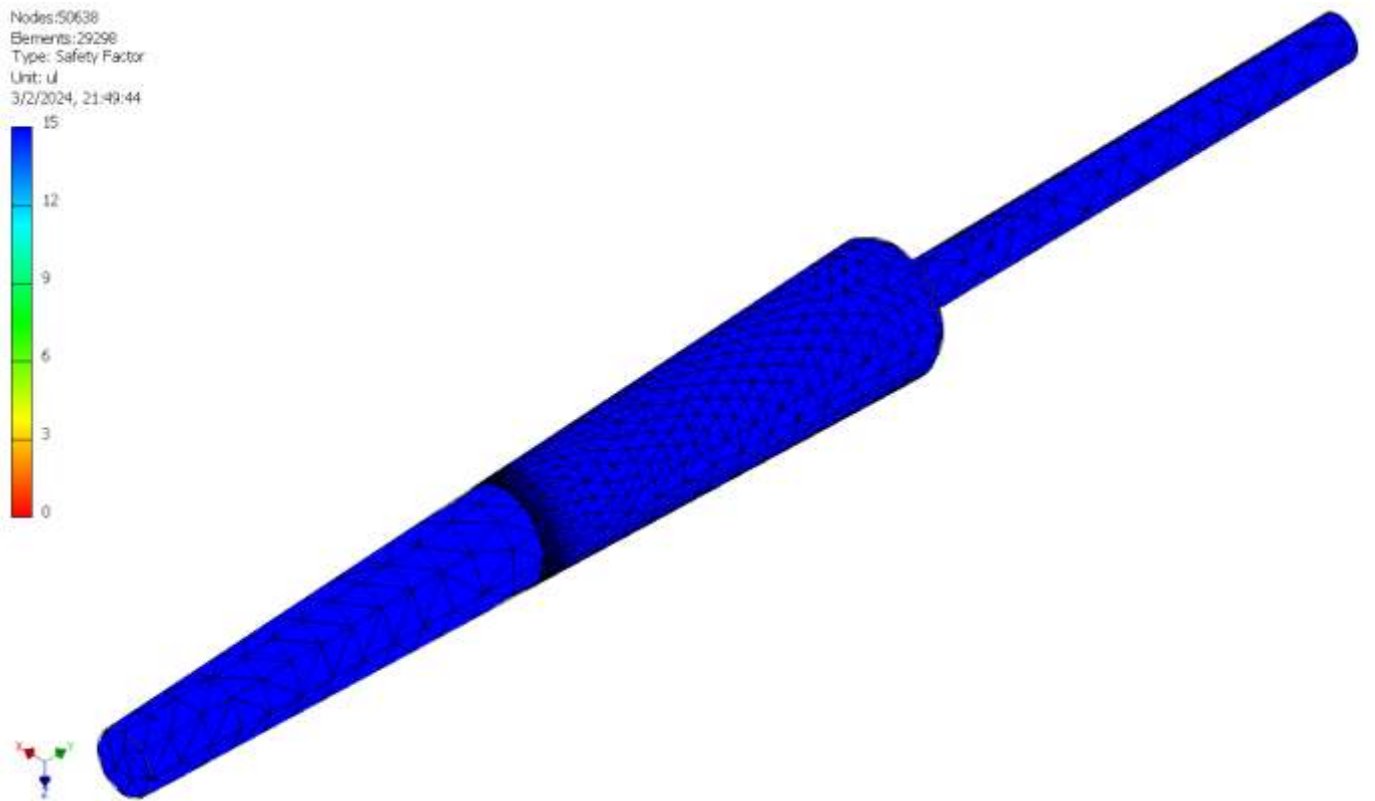


Figura 33 Esfuerzo de Von Mises en rodillo cónico

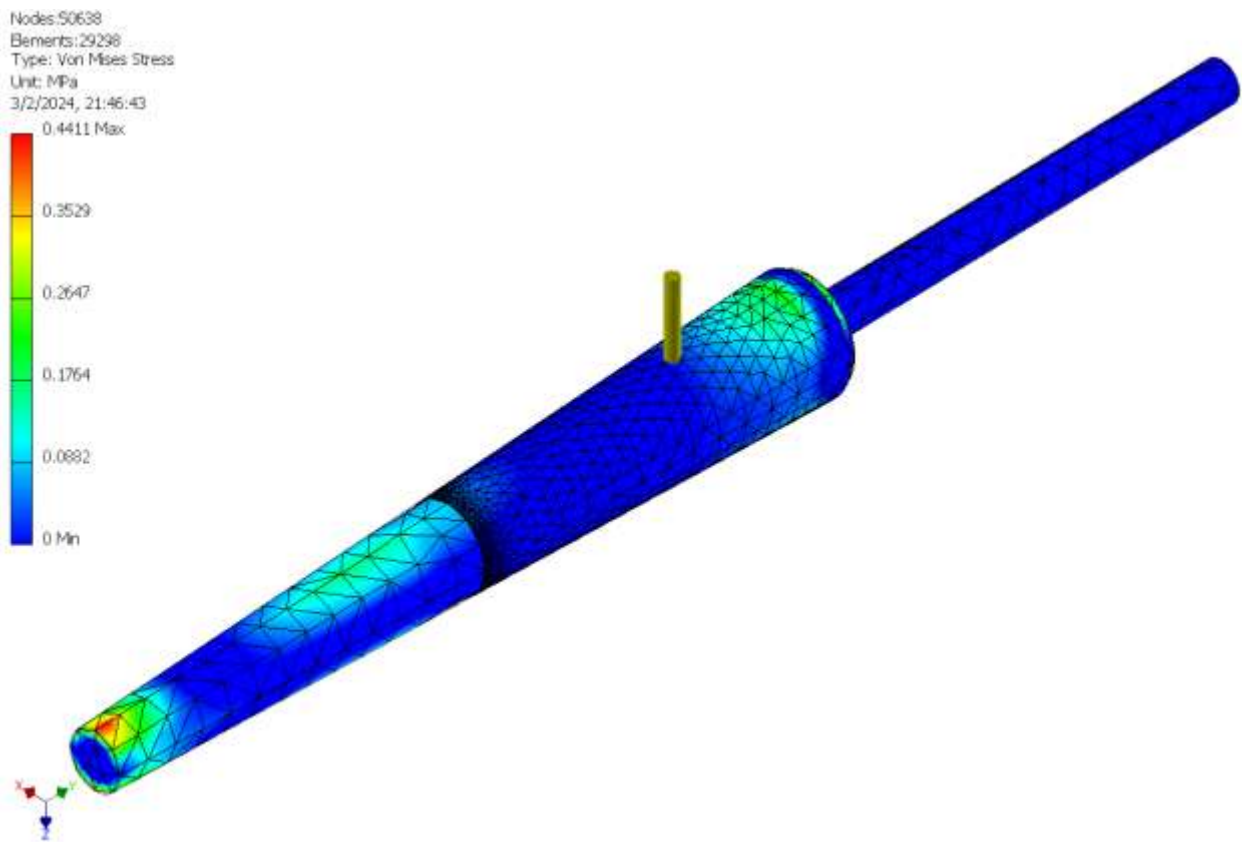


Figura 34 Desplazamiento en soporte de rodillos

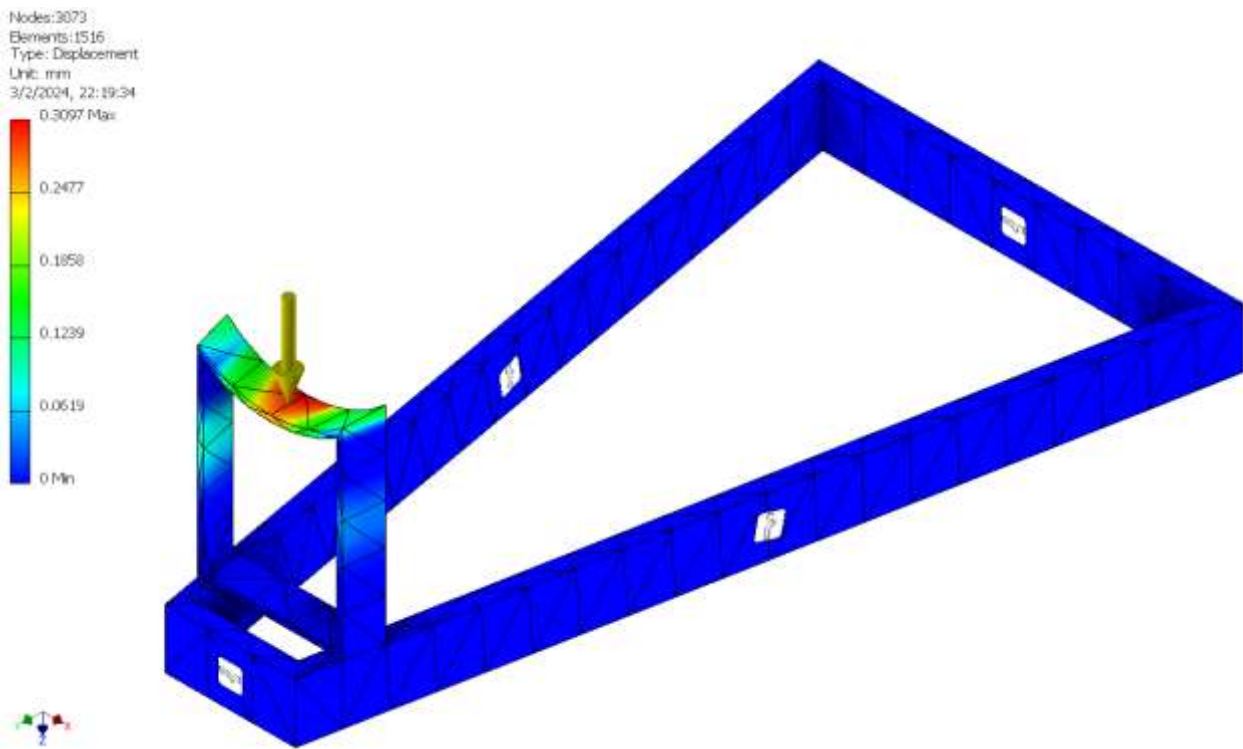


Figura 35 Factor de seguridad en soportes de los rodillos.

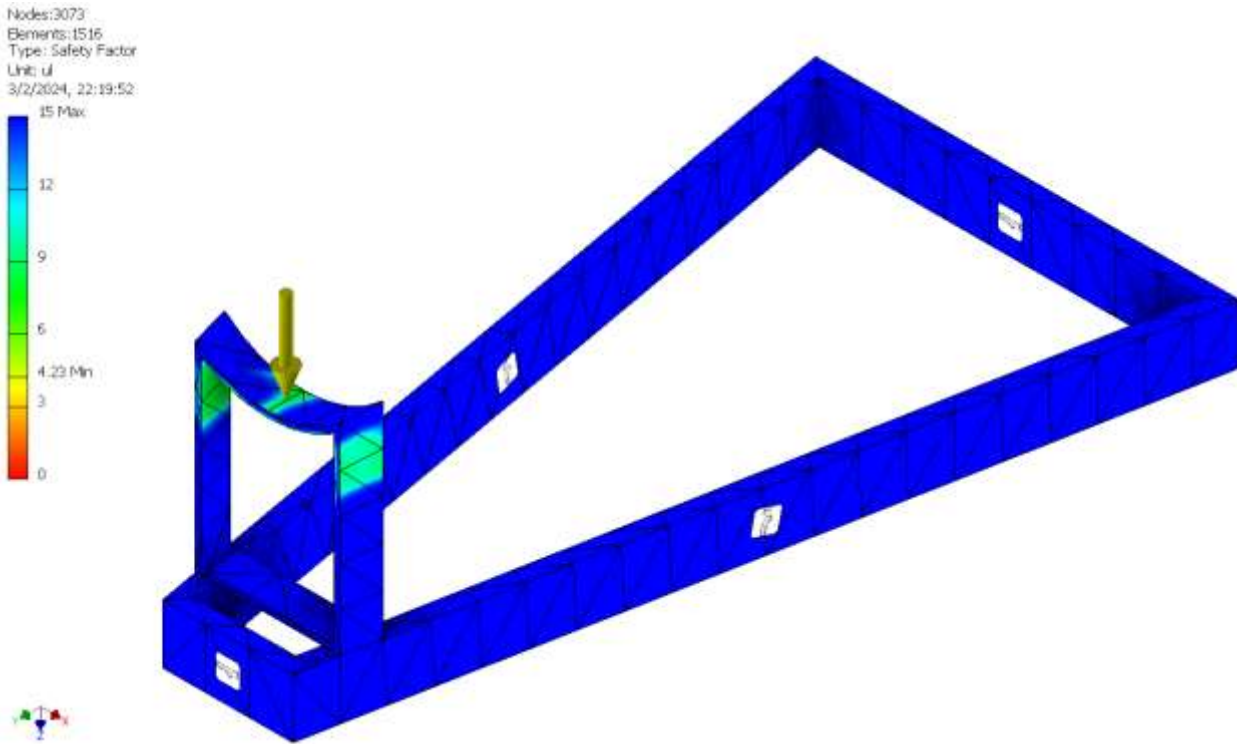


Figura 36 Esfuerzos de Von Mises en soporte de rodillos

