



“Diseño y construcción de una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6 mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones”

Chuquitarco Taco, Marco Vinicio

Vargas Cañar, Ismael Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

23 de Agosto del 2023

Latacunga



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Reporte de verificación de contenido



TESIS-ROLADORA DE 4 RODILLOS.pdf

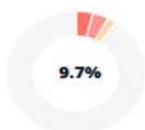
Scan details

Scan time:
August 23th, 2023 at 12:10 UTC

Total Pages:
97

Total Words:
24055

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	4%	955
Minor Changes	3.6%	870
Paraphrased	2.1%	507
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (134)

Firma:



Firmado electrónicamente por:
GUILLERMO MAURICIO
CRUZ ARCOS

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C.C.: 0503010555



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño y construcción de una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6 mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones**” fue realizado por los señores, ***Chuquitarco Taco, Marco Vinicio y Vargas Cañar, Ismael Alexander*** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizando en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Firma:



Firmado electrónicamente por:
GUILLERMO MAURICIO
CRUZ ARCOS

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C.C.: 0503010555



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros **Chuquitarco Taco, Marco Vinicio** y **Vargas Cañar, Ismael Alexander** con cédulas de ciudadanía n° 0504348590 y n° 1805255187 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6 mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Firma

Chuquitarco Taco, Marco Vinicio

C.C.: 0504348590

Vargas Cañar, Ismael Alexander

C.C.: 1805255187



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Chuquitarco Taco, Marco Vinicio y Vargas Cañar, Ismael Alexander**, con cédulas de ciudadanía n° 0504348590 y n° 1805255187 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6 mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 23 de agosto del 2023

Firma

.....
Chuquitarco Taco, Marco Vinicio

C.C.: 0504348590

.....
Vargas Cañar, Ismael Alexander

C.C.: 1805255187

Dedicatoria

El finalizar esta nueva etapa universitaria muy especial para mí, dedico este logro a mis padres especialmente a mi madre por ser una persona única y especial que con sus consejos acertados me dio el aliento y ánimos para seguir adelante a pesar de las dificultades presentadas, haciendo que mi madre sea cada nuevo día mi inspiración y mis razones para seguir luchando por mis objetivos y guiándome con cada uno de sus palabras, para ser una persona de bien e inculcándome muchos valores como el respeto, la humildad, la honestidad y disciplina para mi desarrollo personal.

A mis hermanos que a pesar de los momentos difíciles siempre han estado conmigo apoyándome en cada etapa de mi vida, por sus palabras de aliento y cariño incondicional que me inspiran a ser una persona llena valores y vida.

MARCO CHUQUITARCO

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres ya que es el reflejo de su trabajo y esfuerzo para poder brindarme una formación personal y profesional en la ingeniería, por su empeño de ver a su hijo llegar a culminar la carrera no han escatimado formas con el propósito de poder ayudarme a cumplir mis sueños.

Dedico a mis hermanos para que este trabajo sea inspiración en su formación académica con el propósito que también lleguen a cumplir sus objetivos de vida, que con perseverancia y la voluntad todo se puede alcanzar.

Agradecimiento

Agradezco primero a mi padre Dios por haberme dado la vida, salud, pensamiento y fuerzas para seguir luchando en este mundo y guiarme por el buen camino uno de ellos mis estudios, de igual manera a mis padres que con cada uno de sus esfuerzos han hecho todo lo posible para alcanzar a una nueva etapa de mi vida, a mi madre Zoila María Taco quien fue mi compañera y amiga que en momentos muy difíciles siempre estaba a mi lado y me daba palabras de consuelo, aliento, ánimos para seguir adelante y no rendirme en el camino de la vida.

De todo corazón agradezco a mis hermanos quienes, mediante sus consejos, ánimos y conocimientos me han impulsado a seguir con mis estudios y poder llegar a tan logro anhelado el de poder culminar mi carrera profesional y así poder aportar al desarrollo de mi país.

Al Ingeniero Mauricio Cruz por el apoyo durante el transcurso de del desarrollo del proyecto por su paciencia y atención, así como también sus enseñanzas durante los diferentes semestres.

MARCO CHUQUITARCO

Agradecimiento

Agradezco a mis padres por todo el apoyo brindado a lo largo de estos años, ya que ellos han sido el soporte para culminar esta etapa de mi vida, por haberme enseñado a conseguir las metas con sacrificio y trabajo duro, por ser la guía de vida mediante su ejemplo, consejos y experiencias vividas juntos.

Agradezco a mis hermanos que nos hemos apoyado en momentos buenos y en los que la vida nos ha dado golpes nos hemos mantenido unidos para seguir adelante y seguir forjándonos como profesionales.

Agradezco a todos los docentes que compartieron sus conocimientos y consejos para que seamos profesionales distintivos de nuestra carrera enmarcados en la ética y moral profesional.

Agradezco al Ing. Mauricio Cruz por compartir gratos momentos, sus consejos como director de tesis, así también por sus enseñanzas en las aulas cuando en su momento fui su alumno.

ISMAEL VARGAS

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	18
Índice de tablas	21
Índice de ecuaciones	22
Resumen	24
Abstract	25
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	26
Antecedentes investigativos	26
Planteamiento del problema	27
Descripción resumida del proyecto	28
Justificación e importancia	30
Objetivos del proyecto	31
<i>Objetivo general</i>	31

<i>Objetivos específicos</i>	31
Metas	31
Hipótesis	32
Variables de investigación	32
<i>Variable independiente</i>	32
<i>Variable dependiente</i>	33
Capítulo II: Fundamento teórico	34
Definición de rolado	34
Tipos de rolado	34
<i>Rolado de planos</i>	34
<i>Rolado de no planos</i>	35
Tipos de roladoras	36
<i>Roladoras asimétricas</i>	36
<i>Roladoras de tres rodillos</i>	37
<i>Roladoras de cuatro rodillos</i>	37
Proceso de rolado	38
Partes de una máquina roladora de cuatro rodillos hidráulica	39
<i>Rodillo superior</i>	39
<i>Rodillo inferior</i>	39
<i>Rodillo de apoyo</i>	40
<i>Bastidor de la máquina</i>	40
<i>Base</i>	40
<i>Sistema de accionamiento principal</i>	40

<i>Dispositivo de giro</i>	41
Deformación plástica	41
<i>Curva esfuerzo vs deformación</i>	41
<i>Deformación plástica de los metales dúctiles</i>	42
Características de los materiales a rolar	42
Acero A36	43
<i>Ventajas</i>	43
Aluminio	43
Cálculos estructurales	44
Diseño de ejes	45
<i>Esfuerzo por flexión</i>	45
<i>Esfuerzo de Von Mises</i>	47
<i>Factor de seguridad</i>	47
<i>ED Goodman</i>	48
<i>Análisis vida fatiga</i>	48
<i>Cálculo geométrico</i>	53
<i>Momento de inercia</i>	53
<i>Esfuerzo máximo</i>	53
<i>Fuerza</i>	54
<i>Fuerza de rolado</i>	54
<i>Fuerza de rozamiento</i>	55
<i>Torsión</i>	55
<i>Esfuerzo contante</i>	56

<i>Esfuerzo axial</i>	56
<i>Esfuerzo flector</i>	57
<i>Momento flector</i>	57
Sistema hidráulico	57
Componentes hidráulicos	58
<i>Depósito</i>	58
<i>Bomba</i>	59
<i>Válvulas</i>	60
<i>Cilindros hidráulicos</i>	61
<i>Motores hidráulicos</i>	61
<i>Mangueras hidráulicas</i>	62
Cálculo del sistema hidráulico	63
Sistema eléctrico	66
<i>Energía</i>	66
<i>Selección de conductores</i>	67
<i>Selección de pulsadores</i>	68
Sistemas CAD/CAE	69
<i>Sistemas CAD (Diseño asistido por computadora)</i>	69
<i>Sistemas CAE (Ingeniería asistida por computadora)</i>	70
Soldadura	70
Símbolos de soldadura	71
Tipos de soldadura	71
<i>Soldadura con electrodo revestido SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</i>	72

	14
Soldadura MIG (Metal Inert Gas) y MAG (Metal Active Gas)	73
Uniones no permanentes	74
Cojinetes	74
Tipos de cojinetes	75
Cojinetes de bolas	75
Cojinetes de rodillos	75
Capítulo III: Cálculo, diseño y selección de elementos de la máquina roladora	77
Cálculo para rodillo superior	77
Medidas de la lámina de acero	77
Fuerza de rolado	78
Resistencia por fatiga rotatoria	78
Selección de rodamientos para el eje rolador	82
Carga dinámica de A	84
Carga dinámica de B	84
Recalculando para rodamiento a con YA YB	85
Análisis del rodillo lateral	86
Cálculo momento alternante y torque medio	86
Diseño del rodillo por fatiga	87
Resistencia por fatiga rotatoria	87
Análisis de la fuerza de fricción entre el rodillo superior y la placa	94
Selección de componentes hidráulicos	97
Selección de motor hidráulico	97
Diseño del sistema de regulación	98

<i>Selección de cilindros para el rodillo inferior</i>	99
<i>Selección de cilindros para rodillos laterales</i>	101
Dimensionamiento del tanque	103
<i>Volumen de cilindros Laterales</i>	103
<i>Volumen de cilindros inferiores</i>	104
<i>Volumen de motor hidráulico</i>	104
<i>Volumen de cilindro de acople</i>	105
<i>Volumen total del sistema</i>	106
Cálculo de caudales	107
<i>RPM del motor</i>	107
<i>Caudal del motor hidráulico</i>	107
<i>Caudal de cilindros</i>	107
Selección de bomba	108
Selección del motor eléctrico	108
Selección de electroválvulas	109
Mangueras	110
Selección de mangueras hidráulicas	112
Selección de conductores de electroválvulas	112
Selección de pulsadores	113
Protección de motor eléctrico	114
Diseño	114
Modelado 2d	114
Modelado 3d	115

Simulación rodillos	115
<i>Rodillo lateral</i>	115
<i>Rodillo superior</i>	118
Simulación de la estructura	121
Capítulo IV: Construcción y pruebas de la máquina roladora	125
Proceso de manufactura	125
Pruebas	132
<i>Prueba 1</i>	133
<i>Prueba 2</i>	134
<i>Prueba 3</i>	135
<i>Prueba 4</i>	136
<i>Análisis de resultados</i>	137
Mantenimiento	138
Capítulo V: Marco administrativo	139
Recursos	139
<i>Recursos humanos</i>	139
<i>Recursos materiales</i>	139
<i>Recursos tecnológicos</i>	143
Costo neto de la investigación	143
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	144
Conclusiones	144
Recomendaciones	146
Bibliografía	147

Anexos..... 154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol de problemas</i>	27
Figura 2 <i>Proceso de rolado</i>	34
Figura 3 <i>Rolado de planos</i>	35
Figura 4 <i>Proceso de rolado de no planos</i>	35
Figura 5 <i>Máquina roladora asimétrica</i>	36
Figura 6 <i>Máquina roladora de tres rodillos</i>	37
Figura 7 <i>Máquina roladora de cuatro rodillos</i>	38
Figura 8 <i>Proceso de rolado</i>	38
Figura 9 <i>Partes principales roladora de 4 rodillos</i>	39
Figura 10 <i>Gráfica esfuerzo - deformación</i>	41
Figura 11 <i>Propiedades mecánicas del acero A36</i>	43
Figura 12 <i>Planchas de aluminio</i>	44
Figura 13 <i>Parámetros del factor de modificación superficial de Marín</i>	49
Figura 14 <i>Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aluminios</i>	51
Figura 15 <i>Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa</i>	52
Figura 16 <i>Sistema hidráulico</i>	58
Figura 17 <i>Depósito hidráulico</i>	59
Figura 18 <i>Bomba hidráulica</i>	60
Figura 19 <i>Válvulas hidráulicas</i>	60
Figura 20 <i>Cilindros hidráulicos</i>	61
Figura 21 <i>Motor hidráulico</i>	62
Figura 22 <i>Mangueras hidráulicas</i>	62
Figura 23 <i>Sistemas CAD/CAE</i>	69
Figura 24 <i>Soldadura en metales</i>	70
Figura 25 <i>Símbolos de soldadura</i>	71
Figura 26 <i>Soldadura de filete</i>	72
Figura 27 <i>Soldadura a tope</i>	72

Figura 28 Soldadura por arco eléctrico	73
Figura 29 Soldadura MIG	74
Figura 30 Cojinete de bolas	75
Figura 31 Cojinetes de rodillos	76
Figura 32 Esquema del rodillo superior	77
Figura 33 Esquema lámina de acero	77
Figura 34 Distancia L_r entre rodillo central y rodillos laterales	78
Figura 35 Concentradores de esfuerzo para cuñeros	80
Figura 36 Diagrama de fuerzas	82
Figura 37 Datos de cálculo rodamiento de rótula	84
Figura 38 Datos de cálculo rodamiento cónico	85
Figura 39 Mediadas del rodillo lateral	87
Figura 40 Estimación de K_t para el concentrador de esfuerzo	89
Figura 41 Estimación la muesca q	90
Figura 42 Estimación la muesca q cortante	91
Figura 43 Concentrador por torsión	92
Figura 44 Concentrador por flexión	92
Figura 45 Descomposición geométrica de fuerza del rodillo lateral	94
Figura 46 Diagrama de cuerpo libre para hallar la fuerza de rozamiento	95
Figura 47 Características motor hidráulico	97
Figura 48 Diagrama de la fuerza de empuje del cilindro inferior	98
Figura 49 Fuerza de empuje del cilindro	99
Figura 50 Características de los cilindros del rodillo inferior central	101
Figura 51 Características de los cilindros laterales	103
Figura 52 Características del cilindro de acople	105
Figura 53 Dimensionamiento del depósito	106
Figura 54 Bomba de engranajes de aluminio	108
Figura 55 Motor monofásico	109

Figura 56 <i>Electroválvulas 4 vías 3 posiciones</i>	110
Figura 57 <i>Estimación de velocidad del fluido en tuberías</i>	111
Figura 58 <i>Mangueras Impofreico</i>	112
Figura 59 <i>Catálogo Electrocables</i>	113
Figura 60 <i>Características del pulsador tipo botón</i>	113
Figura 61 <i>Simulación de esfuerzo de Von Mises</i>	116
Figura 62 <i>Desplazamiento del rodillo</i>	116
Figura 63 <i>Deformaciones unitarias del rodillo</i>	117
Figura 64 <i>Factor de seguridad del rodillo</i>	117
Figura 65 <i>Esfuerzo de Von Mises</i>	119
Figura 66 <i>Desplazamiento del rodillo superior</i>	119
Figura 67 <i>Deformación unitaria del rodillo superior</i>	120
Figura 68 <i>Factor de seguridad rodillo superior</i>	120
Figura 69 <i>Esfuerzo de Von Mises de la estructura</i>	122
Figura 70 <i>Factor de seguridad de la estructura</i>	122
Figura 71 <i>Desplazamiento de la estructura</i>	123
Figura 72 <i>Deformación unitaria de la estructura</i>	123
Figura 73 <i>Máquina roladora de 4 rodillos</i>	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente	32
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente	33
Tabla 3 Valores de k_c para diferentes cargas	50
Tabla 4 Factores de confiabilidad k_e	51
Tabla 5 Calibre de alambre Estadunidense	67
Tabla 6 Resultado de la simulación del rodillo lateral	118
Tabla 7 Resultados simulación rodillo superior	121
Tabla 8 Resultados simulación	124
Tabla 9 Proceso de manufactura roladora	125
Tabla 10 Parámetros considerados para las pruebas	133
Tabla 11 Dimensiones de la muestra de lámina	133
Tabla 12 Resultado de la prueba 1	134
Tabla 13 Dimensiones de la muestra de la lámina	134
Tabla 14 Resultado de la prueba 2	135
Tabla 15 Dimensiones de la muestra de la lámina	135
Tabla 16 Resultado prueba 3	136
Tabla 17 Dimensiones de la muestra de la lámina	136
Tabla 18 Resultado prueba 4	137
Tabla 19 Análisis de resultados	138
Tabla 20 Recursos humanos	139
Tabla 21 Recursos materiales	139
Tabla 22 Circuito hidráulico	140
Tabla 23 Circuito eléctrico	141
Tabla 24 Mano de obra	142
Tabla 25 Recursos tecnológicos	143

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Ecuación de esfuerzo alternante y medio</i>	45
Ecuación 2 <i>Esfuerzo por torsión</i>	46
Ecuación 3 <i>Descomposición en términos en la siguiente ecuación</i>	46
Ecuación 4 <i>Ecuación de momentos torsores alternantes y medios</i>	47
Ecuación 5 <i>Ecuación de esfuerzo de Von Mises alternantes y medios</i>	47
Ecuación 6 <i>Factor de seguridad</i>	47
Ecuación 7 <i>Ecuación de ED Goodman</i>	48
Ecuación 8 <i>Ecuación de diámetro</i>	48
Ecuación 9 <i>Ecuación de límite de resistencia a la fatiga en ubicación crítica</i>	48
Ecuación 10 <i>Cálculo de ka</i>	49
Ecuación 11 <i>Ecuaciones de cálculo de factor de modificación de tamaño Kb</i>	50
Ecuación 12 <i>Cálculo de kf</i>	52
Ecuación 13 <i>Factor de seguridad por fatiga</i>	52
Ecuación 14 <i>Área del rectángulo</i>	53
Ecuación 15 <i>Momento de inercia</i>	53
Ecuación 16 <i>Esfuerzo máximo</i>	54
Ecuación 17 <i>Ecuación de fuerza</i>	54
Ecuación 18 <i>Ecuación de rolado</i>	55
Ecuación 19 <i>Fuerza de fricción</i>	55
Ecuación 20 <i>Ecuación de torsión</i>	56
Ecuación 21 <i>Esfuerzo cortante</i>	56
Ecuación 22 <i>Esfuerzo axial</i>	56
Ecuación 23 <i>Esfuerzo flector</i>	57
Ecuación 24 <i>Momento flector</i>	57
Ecuación 25 <i>Fuerza de los cilindros hidráulicos</i>	63
Ecuación 26 <i>Ecuación de carga que afecta a pandeo</i>	63
Ecuación 27 <i>Ecuación carga que afecta a pandeo en términos generales</i>	63

Ecuación 28 <i>Ecuación diámetro del vástago</i>	64
Ecuación 29 <i>Presión de servicio</i>	64
Ecuación 30 <i>Caudal</i>	65
Ecuación 31 <i>Velocidad angular</i>	65
Ecuación 32 <i>Potencia hidráulica</i>	65
Ecuación 33 <i>Consumo de energía</i>	66
Ecuación 34 <i>Potencia del motor eléctrico</i>	66
Ecuación 35 <i>Ecuación para determinar el consumo</i>	67
Ecuación 36 <i>Corriente del contactor</i>	68
Ecuación 37 <i>Cálculo de guarda motor</i>	68
Ecuación 38 <i>Potencia efectiva</i>	68
Ecuación 39 <i>Estimaciones de Se'</i>	80
Ecuación 40 <i>Ecuación fuerza de empuje</i>	82
Ecuación 41 <i>Vida de rodamientos</i>	83
Ecuación 42 <i>Carga dinámica de rodamientos</i>	83
Ecuación 43 <i>Momento plástico</i>	86
Ecuación 44 <i>Potencia hidrostática</i>	108
Ecuación 45 <i>Ecuación de caudal</i>	110
Ecuación 46 <i>Consumo de motor</i>	114

Resumen

La investigación se enfoca en el diseño y construcción de una máquina roladora para resolver la demanda de manufactura de depósitos de aire comprimidos para camiones. Mediante la realización de cálculo se analiza las dimensiones y características mecánicas de los elementos estructurales que más carga van a manejar. Se diseña la máquina roladora de cuatro rodillos utilizando acero AISI 4340 y ASTM A36 con accionamiento electrohidráulico que tendrá la capacidad de rolar láminas de acero de hasta 6mm. También se selecciona los elementos necesarios para la unidad de potencia y accionamiento electrohidráulico que sean adecuados para realizar la tarea de rolado como: cilindros, motor hidráulico, mangueras, medidores de presión, riel de presión y bomba de presión, de la misma forma para el tablero de control y potencia los elementos eléctricos: pulsadores, botón ON-OFF, paro de emergencia, conductores eléctricos, electroválvulas y motor eléctrico. Para evaluar el comportamiento de la estructura y los rodillos se emplea un software CAE (Ingeniería Asistida Por Computador). Además, se esquematiza en 2D y 3D en software CAD los planos estructurales, hidráulicos y eléctricos con el fin de garantizar dimensiones, conexiones y ensambles de los elementos constituyentes de la máquina. En el proceso se establece un plan de mantenimiento en el cual se detalla el funcionamiento general de la máquina, recomendaciones para el operador como posibles soluciones cuando exista una avería en un elemento. Finalmente se realiza un protocolo de pruebas de rolado para determinar el diámetro mínimo con diferentes espesores, con el fin de manufacturar depósitos de aire comprimido.

Palabras clave: Máquina roladora, electro hidráulico, unidad de potencia, depósito de aire comprimido.

Abstract

The research focuses on the design and construction of a bending machine to solve the demand for the manufacture of compressed air tanks for trucks. The dimensions and mechanical characteristics of the structural elements that will handle the most load are analyzed by means of calculations. The four-roll bending machine is designed using AISI 4340 and ASTM A36 steel with electro-hydraulic drive that will have the capacity to roll steel sheets up to 6mm. The necessary elements are also selected for the power unit and electrohydraulic drive that are adequate to perform the rolling task such as: cylinders, hydraulic motor, hoses, pressure gauges, pressure rail and pressure pump, in the same way for the control panel and power electrical elements: push buttons, ON-OFF button, emergency stop, electrical conductors, solenoid valves and electric motor. CAE (Computer Aided Engineering) software is used to evaluate the behavior of the structure and rollers. In addition, the structural, hydraulic and electrical drawings are schematized in 2D and 3D in CAD software in order to guarantee dimensions, connections and assemblies of the machine's constituent elements. In the process a maintenance plan is established in which the general operation of the machine is detailed, recommendations for the operator as possible solutions when there is a failure in an element. Finally, a rolling test protocol is carried out to determine the minimum diameter with different thicknesses in order to manufacture compressed air tanks.

Keywords: Rolling machine, electro-hydraulic, power unit, compressed air tank.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Antecedentes investigativos

Desde años atrás en los talleres o empresas se ha tenido la dificultad de procesar formas curvas en láminas y perfiles metálicos, al no poseer un equipo de trabajo que facilite el proceso de forma rápida y eficaz. En la antigüedad no se disponían de máquinas que puedan realizar este tipo de trabajos y llevaban a cabo la forja en caliente y en frío, los cuales utilizaban para construir armaduras y blindajes curvos; la globalización junto con la revolución industrial, aportaron positivamente en la creación e innovación de nuevas maquinarias que extiendan las capacidades mecánicas, facilitando así los trabajos de formación y conformación de láminas y perfiles metálicos, aprovechando la deformación plástica de los materiales. Posteriormente se ha venido creando máquinas de rodillos de acción manual, que gira por medio de manivelas, mismas que no pueden ejercer una fuerza uniforme y constante para obtener un resultado adecuado. En la actualidad en algunos de los talleres o empresas dedicadas a la fabricación y construcción de tanques o ductos de ventilación, buscan otros métodos para mejorar el terminado de sus trabajos, adquiriendo las máquinas roladoras de láminas, que son accionadas por medio de un motor reductor; que transmiten el giro a los rodillos y son controladas manualmente o automatizados, proporcionando un acabado más limpio, con mayor velocidad y eficiencia en el proceso, logrando reducir los esfuerzos físicos del trabajador y ciclos de producción. Esta creación y procesos de manufactura, han aportado en la construcción de tubos con costura, tanques de almacenamiento de agua o hidrocarburos, ductos de ventilación, tanques de agitación y torres de escape de gases. (FABIAN, 2020)

Hoy en día, el curvado de chapas se ha convertido cada vez más en una operación soportada con CNC. FACCIN ha sido el primer fabricante que experimentó el uso del CNC en máquinas de curvado de chapas de 4 rodillos diseñadas específicamente para curvar chapas circulares en aplicaciones como la producción de torres eólicas y también formas

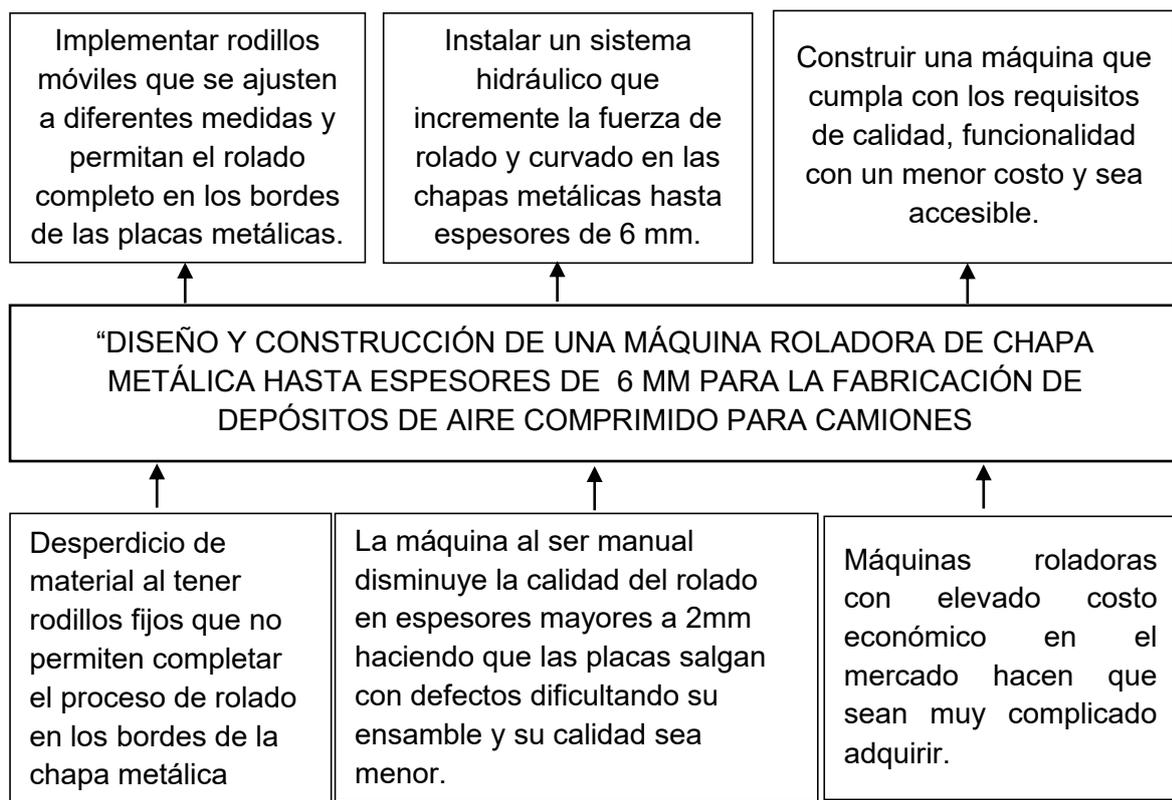
complejas en aplicaciones como la producción de cisternas de camiones. (FACCIN S.P.A, 2022)

Al utilizar estas máquinas se tienen muchas ventajas respecto al rolado de la chapa metálica como: curvado uniforme, diámetros tan pequeños hasta de 1,1 veces el diámetro del rodillo superior, permite controlar de manera eficiente el proceso de curvado para hacer diferentes geometrías, realiza un proceso de curvado completo de toda la placa obteniendo un trabajo de calidad sin superficies defectuosas y con dimensiones precisas en los productos finales, disminuyendo de gran manera el desperdicio de material, aumentando la productividad y ahorrando recursos para las empresas. (DAVI, 2014).

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. A fin de implantar las posibles soluciones a la problemática expuesta se propone el diseño y construcción de una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones.

En Ecuador, existen empresas que utilizan máquinas roladoras como parte de una línea producción para dar formas cilíndricas o con radio a diferentes tipos de placas metálicas, para esto, hacen la utilización de procesos manuales a la hora de realizar los trabajos solicitados, aumentando considerablemente el tiempo y una menor precisión en los procesos de rolado generando altos costos en el producto final, específicamente en el TALLER INDUSTRIAL CHUQUITARCO cuenta con una máquina roladora de tres rodillos manual y de rodillos fijos, lo cual, limita el rolado total de una placa de acero haciendo que se genere un desperdicio de material no rolado y limitando las distintas formas de rolado existentes en el medio.

Descripción resumida del proyecto

La presente investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE CHAPA METÁLICA HASTA ESPESORES DE 6 MM PARA LA FABRICACIÓN DE DEPÓSITOS DE AIRE COMPRIMIDO PARA CAMIONES” se considera lo siguiente:

Para la realización del presente proyecto, primero se realizarán los respectivos cálculos necesarios de cada uno de los componentes que formarán parte de la máquina roladora, elementos que estarán sometidos a esfuerzos críticos como; esfuerzos axiales, momentos flectores, par de torsión, esfuerzos cortantes y fatiga, con la ayuda de estos resultados se podrá dimensionar los elementos necesarios para la máquina y seleccionar los materiales idóneos para la construcción de la roladora.

Se procederá a la selección de cada componente que formarán parte de la máquina roladora, para lo cual, se seleccionará los elementos más adecuados con la ayuda de catálogos de los fabricantes como: elementos del sistema hidráulico, partes del sistema de transmisión de potencia, piezas estructurales, elementos eléctricos y tipos de soldadura más adecuados, en esta selección se debe considerar los tipos de componentes que

existen en el mercado nacional así como también los procesos de manufactura a utilizar, con el objetivo de minimizar recursos como: costos de producción y tiempos de fabricación

Para representar el modelado del sistema, se utilizará un software CAD (Diseño Asistido por Computador), donde nos permitirá modelar, diseñar y ensamblar componentes de la máquina roladora en 2D y 3D de forma precisa, para conocer dónde y cómo van ubicadas cada una de las piezas y elementos de la máquina roladora.

Se analizará el diseño de la máquina roladora mediante la utilización de un software CAE, donde se procederá a realizar el análisis a cada una de las piezas como son: rodillos y bastidor principal de la roladora, elementos que estarán sometidos a grandes cargas y esfuerzos, para así comprobar la validez de funcionamiento de diseño y su resistencia estructural de la misma.

Se manufacturará los diferentes elementos diseñados para ensamblar la máquina roladora, donde se contará con los respectivos planos de cada pieza, así como el plano general de detalle para poder tener una mejor interpretación a la hora de la construcción, teniendo en cuenta los diferentes sistemas que formarán parte de la máquina roladora.

Se seleccionará los elementos necesarios para el sistema de control, el mismo que permitirá controlar los actuadores hidráulicos para modificar posición, fuerza y giro de los rodillos.

Se implementará la máquina roladora en el taller Industrial Chuquitarco donde se realizará las respectivas pruebas generales de funcionamiento y se verificará la precisión de la máquina a la hora de construir un cilindro de aire comprimido para el sistema de frenos, suspensión y amortiguamiento de la cabina en camiones.

Se dotará de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina roladora con fin de tener en buen funcionamiento de la roladora para alargar la vida útil de esta máquina.

Justificación e importancia

El Taller Industrial Chuquitarco no posee una máquina roladora con rodillos desplazables por tanto es conveniente realizar la investigación por lo cual al ser implementada se podrá rolar una gran variedad de láminas metálicas obteniendo productos con diferentes formas cilíndricas o con radios en planchas de hasta 6 mm de espesor con gran facilidad y precisión, por lo cual se pretende realizar un diseño con asistencia hidráulica con el objetivo de efectuar trabajos de rolados necesarios en dicha empresa.

Es necesario el diseño y la fabricación de este tipo de máquina, puesto que es una herramienta que está compuesta principalmente de rodillos alineados horizontalmente que se desplazan en el eje Y mediante cilindros hidráulicos, los rodillos tendrán movimientos circulares que estarán accionados mediante un motor hidráulico que permitirá dar movimientos respectivos a diferentes placas metálicas para realizar el rolado de la misma. La función principal de la máquina roladora es dar diferentes formas cilíndricas o con radio a una variedad de placas metálicas, estas geometrías circulares nos permitirá fabricar depósitos de aire comprimido para los diferentes sistemas que poseen los camiones pesados y semirremolques, para los sistemas tales como: frenos, suspensión neumática y amortiguamiento de la cabina, estos depósitos son unos de los elementos más principales, por cuanto retienen una cantidad suficiente de aire comprimido, para luego ser enviado mediante conductos a los diferentes elementos para su respectivo accionamiento de frenos, suspensión neumática y sistemas auxiliares, además, con esta máquina roladora permitirá dar forma cilíndrica para la fabricación de depósitos de combustible para camiones pesados, así como también para la fabricación depósitos de aceite hidráulico.

Las ventajas que se tiene con este tipo de máquinas es una alta productividad a la hora de realizar el rolado en diferentes láminas metálicas optimizando de gran manera recursos como tiempo y dinero mismos que servirá a la empresa para seguir creciendo

tecnológicamente, además estas máquinas al tener un sistema hidráulico permiten un rolado con un desperdicio mínimo de material.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

- Diseñar y construir una máquina roladora de chapa metálica hasta espesores de 6 mm para la fabricación de depósitos de aire comprimido para camiones.

Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica de fuentes confiables como: artículos, libros, revistas científicas, patentes, catálogos, tesis.
- Realizar los cálculos matemáticos para el diseño de las piezas que estarán sometidos a esfuerzos críticos.
- Definir los requerimientos para el diseño y construcción de la máquina roladora.
- Realizar el dimensionamiento y modelado computacional de la máquina con los componentes seleccionados mediante el uso de software CAD.
- Analizar mediante software CAE el diseño de los rodillos y el bastidor de la máquina para estudiar aspectos como: esfuerzos, deformaciones, factor de seguridad y fatiga durante su funcionamiento sometido a diferentes cargas.
- Construir y ensamblar cada componente que constituye la máquina roladora.
- Seleccionar e implementar los componentes del sistema de control para el funcionamiento de la máquina roladora.
- Realizar pruebas de funcionalidad en la máquina roladora construyendo un tanque de aire comprimido rolando la chapa de acuerdo a lo requerido.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la máquina roladora.

Metas

- Calcular y seleccionar los componentes principales para el prototipo a diseñarse.

- Diseñar y manufacturar el prototipo teniendo en cuenta parámetros de construcción determinados en el diseño.
- Seleccionar e implementar el sistema de control de la máquina roladora.
- Implementar y realizar pruebas de funcionamiento en el Taller Industrial Chuquitarco para la fabricación de depósitos de aire comprimido.

Hipótesis

El diseño y construcción de una máquina roladora para chapa metálica hasta espesores de 6 mm ayudara a la fabricación de depósitos de aire comprimido en camiones.

Variables de investigación

Variable independiente

Diseño y construcción de una máquina roladora para chapa metálica hasta espesores de 6 mm

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Es una máquina para dar forma cilíndrica o con radio a diferentes	Estructura	Esfuerzo	MPa	Cálculo Simulación	Pruebas en software especializado
		Par de Torsión	Nm	Cálculo Simulación	Pruebas en software especializado
		Factor de diseño	Cálculo Simulación	Pruebas en software especializado
		Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Cálculo	Pruebas en software especializado
	Sistema	Presión	MPa	Cálculo	Pruebas en software especializado
	Hidráulico	Fuerza	N	Cálculo	Pruebas en software especializado

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
placas metálicas	Sistema de transmisión	Velocidad angular	$\frac{rad}{s}$	Cálculo	Pruebas en software especializado
		Tensión	V	Medición	Prueba de campo
	Sistema eléctrico	Intensidad	I	Medición	Prueba de campo
		Consumo	Wh	Medición	Prueba de campo

Nota. En la tabla 1 se presenta la operacionalización de la variable independiente.

Variable dependiente

Fabricación de depósitos de aire comprimido en camiones.

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Son recipientes que almacenan aire comprimido y se utilizan en sistemas de frenos y suspensiones neumáticas de camiones	Geometría y dimensionamiento	Longitud	m	Medición	Pruebas de campo Flexómetro
			m	Medición	Pruebas de campo Flexómetro
	Geometría y dimensionamiento	Espesor	m	Medición	Pruebas de campo Calibrador

Nota. La tabla 2 evidencia la operacionalización de la variable dependiente, la misma que permite conocer su concepto, categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos de evaluación.

Capítulo II

Fundamento teórico

Definición de rolado

El proceso de rolado se refiere a pasar el hierro por rodillos para que adquiera una forma determinada, cuando se le aplica la presión generada por los rodillos el hierro se adquiere a dicha forma. El grosor de el resultado ya sea (barras, laminas, lingotes, etc.) depende en gran parte de las toneladas de hierro que se le agreguen, así como del tipo de rodillos con el que se procesó. (QuimiNet, 2011)

Figura 2

Proceso de rolado



Nota. En la figura 2 se observa el proceso de rolado en forma cilíndrica. Tomado de (CORPORACION AYALA SAC, 2017)

Tipos de rolado

Rolado de planos

Se refiere al trabajo que consiste en doblar lámina utilizando un radio relativamente amplio con el propósito fundamental de obtener la forma curva deseada. Se emplea este proceso en general para la fabricación de cilindros para tanques, conos para decantadores. (Figura 2). Otras formas cilíndricas tales como las chimeneas de las estufas o bajantes de canales, etc. (Mejía, 2011)

Figura 3*Rolado de planos*

Nota. En la figura 3 se puede observar el proceso de rolado de una chapa metálica plana donde se le da una geometría cilíndrica. Tomado de (FEYSAMA, 2019)

Rolado de no planos

En esta categoría se encuentran los procesos de rolado de perfiles, para lo cual las máquinas para este tipo se encuentran equipadas con soporte de apertura, cierre manual, extensiones para incorporar rodillos para el curvado de perfiles, pedales para la rotación de los rodillos y protecciones de seguridad. El rolado de perfiles en general se emplea para la fabricación de arcos arquitectónicos, pórticos curvos, arcos para túneles, etc (Mejía, 2011).

Figura 4*Proceso de rolado de no planos*

Nota. En la figura 4 se puede observar el proceso de rolado de perfiles mediante una máquina roladora de tres rodillos. Tomado de (Dobladora Carvajal, 2019)

Tipos de roladoras

Hay diferentes tipos de máquinas dobladoras disponibles en función de sus diferentes campos de utilización. Según el número de rodillos presentes, las máquinas laminadoras de placas se dividen en tres rodillos y cuatro rodillos. La máquina dobladora de tres rodillos se clasifica en una máquina dobladora simétrica de tres rodillos, una máquina dobladora horizontal de tres rodillos con ajuste hacia abajo, una máquina dobladora de placa con ajuste hacia abajo de arco, una máquina dobladora universal de tres rodillos con rodillo superior y una dobladora hidráulica. (ENGINEERINGLEARN, 2022)

Roladoras asimétricas

Su concepto se basa en tres rodillos: uno superior, otro inferior debajo del superior y un tercero lateral. Este modelo de roladora se usa para trabajo liviano; su tamaño estándar es para chapa hasta 2 metros de ancho y espesores que no superan los 6 mm. Las asimétricas realizan la sujeción de la chapa entre el rodillo superior y el inferior, por lo que la lámina queda prensada entre ellos mediante fuerza hidráulica o mecánica y es conducida por el giro motorizado del superior; una vez la chapa pasa por encima del rodillo lateral, este sube, generando presión que curva la chapa hasta lograr el radio buscado o el cilindrado, obteniendo un tubo (Arango, 2011)

Figura 5

Máquina roladora asimétrica



Nota. En la figura 5 se puede observar una máquina roladora asimétrica de tres rodillos.

Tomado de (Volta Maquinaria Industrial, 2014)

Roladoras de tres rodillos

Su diferencia con la anterior radica que la posición geométrica de los rodillos forma un triángulo, con un solo rodillo superior y dos laterales inferiores. Su geometría permite un trabajo sin amarre específico de la chapa. El rodillo superior por encima de la chapa y los dos laterales por debajo, la presionan entre sí, lo que genera una fuerte sujeción y una curva; al girar el rodillo superior, éste obliga el desplazamiento de la chapa. En las diferentes “pasadas”, paulatinamente, se incrementa la presión de los laterales, lo cual logra cerrar el radio hasta conseguir el buscado. (Arango, 2011)

Figura 6

Máquina roladora de tres rodillos



Nota. En la figura 6 se tiene una máquina roladora de tres rodillos en forma piramidal.

Tomado de (Volta Maquinaria Industrial, 2014).

Roladoras de cuatro rodillos

Es la más moderna de la tecnología actual en el rolado; su ejecución mejora considerablemente todos los pasos de trabajo en el curvado de la chapa. La posición de los cuatro rodillos en estas máquinas es: Uno motriz superior, uno motriz inferior y dos laterales; en su secuencia, respeta siempre mayor diámetro en el superior, seguido en el inferior y menor en los laterales. Las ventajas en el proceso del rolado en una máquina de cuatro rodillos frente a una de tres son porcentualmente mucho más altas en productividad (Arango, 2011).

Figura 7

Máquina roladora de cuatro rodillos.



Nota. En la figura 7 se tiene una máquina roladora de 4 rodillos, el cual nos indica el proceso de rolado. Tomado de (FACCIN S.P.A, 2022)

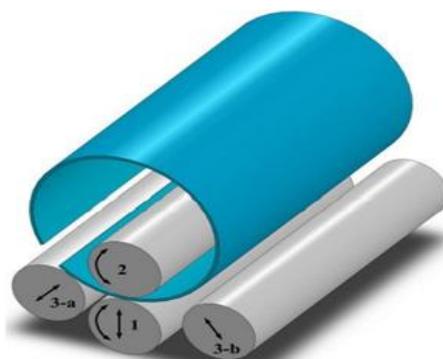
Proceso de rolado

Según lo establecido por (GAMARRA, 2016) en su trabajo de titulación menciona las etapas de fabricación (como se muestra en la figura 8) se describen a continuación:

- Colocar la placa en la máquina y mover el rodillo N° 01 hasta presionar la plancha.
- Mover el rodillo 3-b; girar los rodillos N° 01 y 02 para lograr obtener la forma de la plancha.
- Cambiar el rollo 3-a y bajar el rodillo 3-b para continuar con la forma de la plancha.
- Terminar de armar el cilindro y bajar el rodillo N° 01 y el 3-a hasta terminar la parte final.

Figura 8

Proceso de rolado



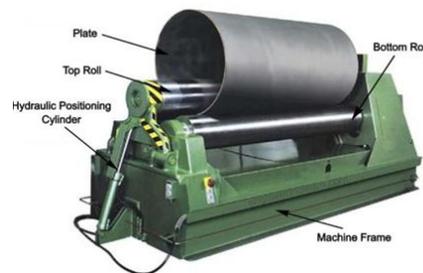
Nota. En la figura 8 se tiene el proceso de rolado de una máquina de cuatro rodillos. Tomado de (GAMARRA, 2016).

Partes de una máquina roladora de cuatro rodillos hidráulica

Una máquina roladora de cuatro rodillos se compone principalmente de estas partes: cilindro de posicionamiento hidráulico, panel de control, rodillo superior, rodillo lateral, rodillo inferior, estructura de la máquina. La máquina roladora de cuatro rodillos es adecuada para el trabajo de perfilado de láminas de metal. Puede laminar piezas de trabajo redondas, curvas y cónicas dentro de un cierto rango, y tiene la función de prelaminado al final de la hoja. Los bordes rectos restantes son pequeños y la eficiencia del trabajo es alta. La hoja del metal se puede nivelar aproximadamente en la máquina (HARSLE, 2022)

Figura 9

Partes principales roladora de 4 rodillos



Nota. En la figura 9 se tiene las partes de una máquina roladora hidráulica de cuatro rodillos. Tomado de (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Rodillo superior

El rodillo superior presente en este dispositivo se compone principalmente del cilindro de aceite principal, los cojinetes y el rodillo superior. El rodillo superior es una parte importante de esta máquina laminadora de placas. Por lo general, se construye con 42CrMo y se temple después de una sesión completa de mecanizado en bruto. Su dureza de temple y revenido oscila entre HB 230 ~ 290 (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Rodillo inferior

El rodillo inferior de este dispositivo está compuesto por el rodillo inferior, el asiento del cojinete, el engranaje, el cojinete deslizante, etc. Es perfectamente adecuado para operar en condiciones normales de temperatura y usos en sitios de servicio pesado de baja velocidad. El rodillo inferior está fabricado con acero al carbono de alta calidad. Se procesan

minuciosamente mediante mecanizado en bruto y rondas de proceso de temple y revenido. La dureza de temple y revenido oscila entre HB 230 ~ 290 (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Rodillo de apoyo

El dispositivo de rodillos de apoyo se compone de un rodillo de apoyo, un mecanismo de cuña y un volante manual ajustable. El rodillo está fabricado en acero 45 y ha sido templado y revenido. Hay un grupo de rodillos de apoyo presentes en la máquina. El usuario puede ajustarlos fácilmente hacia arriba y hacia abajo según una carga de placas enrolladas de las especificaciones requeridas. El rodillo de apoyo aquí se usa para soportar la parte media del rodillo inferior para mejorar la rigidez del rodillo inferior (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Bastidor de la máquina

El marco de este dispositivo mecánico está compuesto por el cuerpo de la máquina, la placa deslizante y la camisa del eje. Luego, el marco se suelda y se recoce más tarde. El marco de esta máquina se utiliza para instalar los cilindros hidráulicos principales y ayuda a impulsar las piezas del rodillo superior para que se muevan horizontalmente (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Base

La construcción de la base de la máquina laminadora incluye una estructura soldada en caja, que luego se temple y se libera de tensiones. Esta caja se utiliza luego para la instalación de varios componentes de esta máquina. El marco, el reductor, el motor y otros componentes y dispositivos se instalan en él y luego se forman en una máquina completa (ENGINEERINGLEARN, 2022).

Sistema de accionamiento principal

El dispositivo de accionamiento principal de esta máquina laminadora de placas consiste básicamente en un motor principal, un freno, un engranaje, un reductor, un cojinete, etc. El sistema de esta máquina para proporcionar potencia puede girar tanto hacia adelante como hacia atrás. El torque dentro de esta máquina se transmite a los rodillos inferiores a

través de la asistencia del reductor principal. El engranaje de salida y el engranaje del rodillo inferior juntos hacen que el rodillo inferior gire. El movimiento del rodillo inferior se basa en la fricción entre la transmisión y la placa para alimentar y completar el trabajo de laminación (ENGINEERINGLEARN, 2022)

Dispositivo de giro

El dispositivo de volteo de esta máquina laminadora de placas incluye un bloque deslizable, un cilindro de aceite, etc. El dispositivo de volteo está instalado en un lado del marco de volteo que se usa para todas las operaciones de volteo y recuperación. La función principal del dispositivo de giro en una máquina laminadora de placas es facilitar la salida del producto de la máquina a lo largo de la dirección axial del rodillo (ENGINEERINGLEARN, 2022).

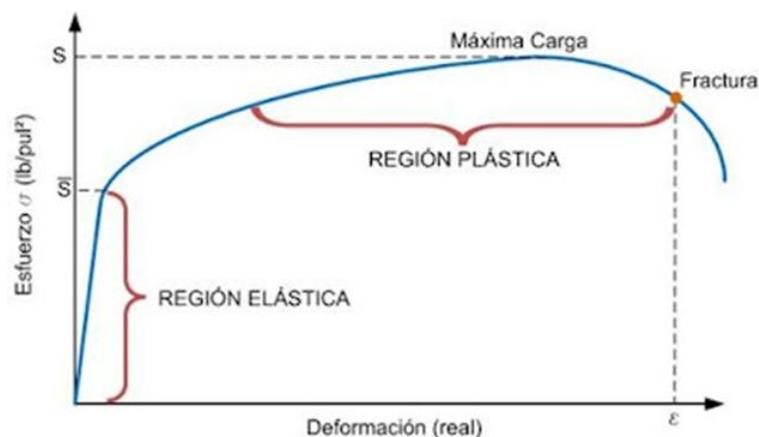
Deformación plástica

Curva esfuerzo vs deformación

Debido a que los metales deben ser conformados en la zona de comportamiento plástico, es necesario superar el límite de fluencia para que la deformación sea permanente. Por lo cual, el material es sometido a esfuerzos superiores a sus límites elásticos, estos límites se elevan consumiendo así la ductilidad (Anonymous, 2016).

Figura 10

Gráfica esfuerzo - deformación.



Nota. En la figura 10 se puede observar la gráfica esfuerzo - deformación de los metales.

Tomado de (Anonymous, 2016).

Deformación plástica de los metales dúctiles

Los materiales metálicos usados en la ingeniería se clasifican generalmente en dúctiles y frágiles. Un material dúctil es el que tiene un alargamiento a tracción relativamente grande hasta llegar al punto de rotura (por ejemplo, el acero estructural o el aluminio), mientras que un material frágil tiene una deformación relativamente pequeña hasta el mismo punto. Frecuentemente se toma como línea divisoria entre las dos clases de materiales un alargamiento arbitrario de 0.05 cm/cm. La fundición y el hormigón son ejemplos de materiales frágiles (Anonymous, 2016).

En (Anonymous, 2016) detalla lo siguiente de las características de la curva esfuerzo deformación que establecen lo siguiente:

- Presentan región elástica, región plástica y fractura.
- Características mecánicas generales: resistentes, dúctiles (maleables) y con fractura en la región plástica.
- El tipo de enlace en un material determina críticamente el grado de deformación elástica o plástica del mismo, p. ej. la posibilidad de que los átomos abandonen sus posiciones de equilibrio bajo la aplicación de tensiones externas.
- El enlace metálico (no direccional) permite un desplazamiento sencillo de las dislocaciones bajo pequeñas tensiones aplicadas y en cualquier dirección.
- La carga eléctrica en un metal está des localizada y compartida por todo el material, luego no supone un impedimento para el desplazamiento de los átomos.
- Particularidades (oscilaciones en la transición régimen elástico-plástico, superplasticidad).

Características de los materiales a rolar

Los materiales más utilizados para la fabricación de depósitos de aire comprimidos generalmente son los aceros y el aluminio de distintos espesores de acuerdo con el uso y la capacidad del mismo. Para la realización de este proyecto se utilizará el acero estructural ASTM A36 por ser el más utilizado (Cia. General de Aceros, 2020).

Acero A36

El acero ASTM A36 es una aleación de hierro (mínimo 98 %), con contenidos de carbono de máximo 0.29 % y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso y silicio, para mejorar su resistencia a la tracción y buena influencia en la soldadura. Entre sus ventajas está la buena resistencia a la tracción y compresión además de su bajo costo (Cia. General de Aceros, 2020)

En (Cia. General de Aceros, 2020) da a conocer los usos y ventajas del acero A36 el material estructural más usado para construcción de estructuras en el mundo. Es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se utiliza en la construcción de estructuras como construcciones de puentes, edificios y estructuras atornilladas y/o soldadas

Ventajas

- Ductilidad y Homogeneidad
- Soldabilidad
- Relación resistencia / precio
- Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento

Figura 11

Propiedades mecánicas del acero A36

Propiedades Mecánicas			
Resistencia a la tracción	Límite Elástico, min	Alargamiento %, min	
		200 mm	50 mm
41 - 56 Kg /mm ²	23 - 25 Kg / mm ²	20	23
400 - 550 Mpa	250 Mpa.		
58 – 80 ksi.	36 ksi		

Nota. En la figura 11 indica las propiedades mecánicas del acero A36. Tomado de (Cia. General de Aceros, 2020).

Aluminio

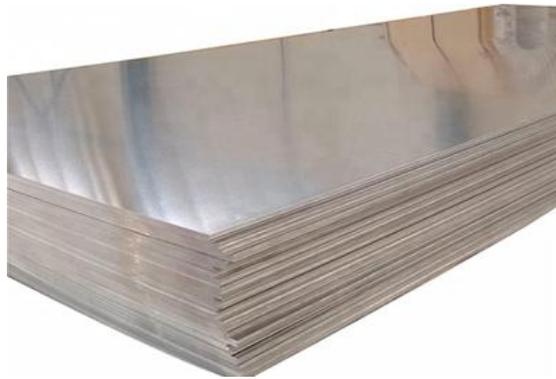
El aluminio puro de uso comercial posee una resistencia a la tracción de 90 MPa, aspecto que lo convierte en un metal muy útil para materiales estructurales. Sometido a procesos como el laminado en frío puede adquirir aún más resistencia. Se puede obtener un aumento adicional de

su resistencia uniéndolo con elementos tales como cobre, manganeso y silicio en porcentajes medidos. Las aleaciones de aluminio son mucho más resistentes y pueden adquirir aún más resistencia a través del tratamiento térmico. (WEERG STAFF, 2022).

El aluminio es maleable, lo que significa que puede presentarse formando alambres delgados sin romperse. Sin embargo, su ductilidad es menor que la del cobre. El aluminio también tiene una baja densidad y un bajo punto de fusión. Se puede fundir de diferentes maneras gracias a su flexibilidad para producir los productos deseados, como hojas, láminas, tubos y barras. (WEERG STAFF, 2022).

Figura 12

Planchas de aluminio



Nota. En la figura 12 se puede observar láminas de aluminio de distintos espesores.

Tomado de (COBRESOLD, 2021).

Cálculos estructurales

Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada. Entre las más importantes se pueden mencionar (no necesariamente en orden de importancia) (Shigley Richard G. Budynas, 2008) el cual establece lo siguiente:

- Funcionalidad

- Resistencia/esfuerzo
- Distorsión/deflexión/rigidez
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad
- Confiabilidad
- Manufacturabilidad
- Costo
- Peso
- Vida
- Mantenimiento

Teniendo en cuenta estas características que debe tener una máquina para su correcto funcionamiento de manera general se procede a indicar las fórmulas necesarias para el diseño de ciertos elementos de la máquina.

Diseño de ejes

Esfuerzo por flexión

Esfuerzos de flexión, torsión o axiales pueden estar presentes tanto en componentes medios como en alternantes. Para el análisis, es suficientemente simple combinar los diferentes tipos de esfuerzos en esfuerzos de Von Mises alternantes y medios (Budynas & Nisbett, 2008).

Ecuación 1

Ecuación de esfuerzo alternante y medio

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \qquad \sigma_m = K_f \frac{M_m c}{I}$$

Donde

- Kf = Factor de concentración de esfuerzo por fatiga por flexión.
- Ma = Momento flexionante alternante.

- M_m = momento flexionante medio
- I = momento de inercia.
- C = centroide

Ecuación 2

Esfuerzo cortante alternante y esfuerzo cortante medio

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a C}{J} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{T_m C}{J}$$

Donde

- K_{fs} = Factor de concentración de esfuerzo por fatiga por torsión.
- T_a = Momento torsor alternante.
- T_m = Momento torsor medio
- J = Momento de inercia.
- C = Centroide

Poniendo la ecuación 2 en términos geométricos obtenemos la ecuación 3.

Ecuación 3

Descomposición en términos en la siguiente ecuación

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \qquad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}$$

Donde

- K_f = concentración de esfuerzo por fatiga por flexión.
- M_a = momento flexionante alternante.
- M_m = momento flexionante medio
- d = diámetro

Seguimos descomponiendo en términos conocido los torques alternantes y medios en la siguiente ecuación.

Ecuación 4

Ecuación de momentos torsores alternantes y medios

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \qquad \tau_m = K_{fs} \frac{T_m}{\pi d^3}$$

Donde

- Kfs = Factor de concentración de esfuerzo por fatiga por torsión.
- Ta = Momento torsor alternante.
- Tm = Momento torsor medio
- d = Diámetro

Esfuerzo de Von Mises

Cuando se combinan estos esfuerzos de acuerdo con la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos, sin tomar en cuenta las cargas axiales, están dados por:

Ecuación 5

Ecuación de esfuerzo de Von Mises alternantes y medios

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{\left(K_f \frac{32M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} = \sqrt{\left(K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}\right)^2}$$

Factor de seguridad

El factor de seguridad es la división entre esfuerzo de cedencia dado por la curva del material y el esfuerzo calculado, dado por las condiciones a las que está sometido nuestro diseño.

Ecuación 6

Factor de seguridad

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}$$

Donde

- σ_a = esfuerzo de Von Mises alternante

- σ_m = esfuerzo de Von Mises medio.
- n = factor de seguridad
- S_e = resistencia a la fatiga
- S_{ut} = resistencia a la fluencia.

ED Goodman

Las ecuaciones resultantes para varias de las curvas de falla usadas comúnmente se resumen a continuación. Los nombres que se dan a cada conjunto de ecuaciones identifican la teoría de falla significativa, seguida por el nombre de un lugar geométrico de falla por fatiga.

Ecuación 7

Ecuación de ED Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

Ecuación 8

Ecuación de diámetro

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Análisis vida fatiga

Para el diseño por resistencia a la fatiga hay algunos factores que inciden en su cálculo los cuales nombraremos a continuación.

Ecuación 9

Ecuación de límite de resistencia a la fatiga en ubicación crítica.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_{\hat{e}}$$

Donde

- K_a = Factor de modificación de la condición superficial superficie
- K_b = Factor de modificación del tamaño
- K_c = Factor de modificación de la carga

- Kd = Factor de modificación de la temperatura
- Ke = Factor de confiabilidad
- Kf = Factor de modificación de efectos varios
- Sé = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
- Se = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

A continuación, vamos a detallar el cálculo de cada uno de los factores

Ecuación 10

Cálculo de k_a

$$k_a = a * (S_u)^b$$

Donde

- a = factor de la condición superficial
- b = exponente
- Su = resistencia última

Figura 13

Parámetros del factor de modificación superficial de Marin

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	Sut kpsi	Sut MPa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Nota. En la figura 13 se denota el factor a y el exponente b según el acabado superficial.

Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Cálculo de k_b

Para estimaciones del factor de modificación de tamaño se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 11

Factor de modificación de tamaño K_b

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < 254 \text{ mm} \end{cases}$$

- d = Diámetro

Cálculo de k_c

Tabla 3

Valores de k_c para diferentes cargas

	Flexión	1
k_c	Axial	0,85
	Torsión	0,59

Nota. En la tabla 3 encontramos valores según el tipo de cargas que actúen. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008)

Cálculo de k_d

Cuando las temperaturas de operación son menores que la temperatura ambiente, la fractura frágil es una posibilidad fuerte, Como las temperaturas de operación superan en poco al ambiente; se usará $K_d = 1$.

Cálculo de k_e

Para el cálculo del factor de confiabilidad Se toma siempre el 50% a menos que se dé un valor específico. Entonces el $K_e = 1$

Tabla 4*Factores de confiabilidad k_e*

Confiabilidad, %	Variación de transformación Z_α	Factor de confiabilidad K_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

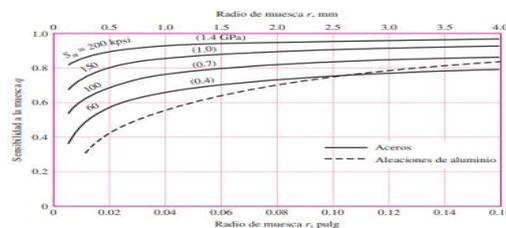
Nota. En la tabla 4 encontramos valores según el porcentaje de confiabilidad. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Cálculo de k_t

Para este caso se toman los valores de d , r asumidos. Para hallar la sensibilidad a la muesca (q) sabiendo el radio de muesca y la resistencia última a la tensión utilizaremos la siguiente figura.

Figura 14

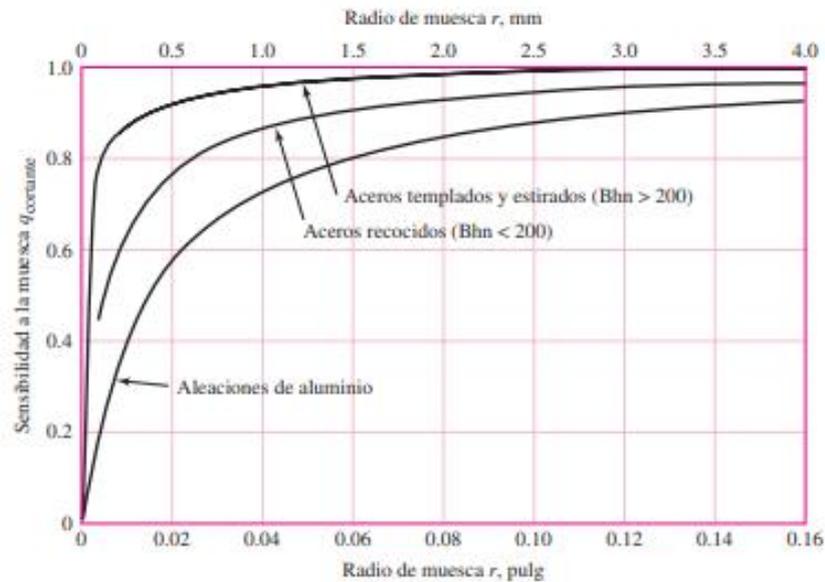
Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aluminios.



Nota. En la figura 14 encontramos valores de q según la resistencia última. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 15

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa.



Nota. En la figura 15 encontramos valores de q cortante según la resistencia última. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de q cortante correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm). Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Ecuación 12

Cálculo de k_f

$$k_f = 1 + q(kt - 1) \quad k_{fs} = 1 + q_{\text{cortante}}(k_{ts} - 1)$$

Donde

- q = sensibilidad a la muesca

Ecuación 13

Factor de seguridad por fatiga

$$n = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

Donde:

- S_y = límite de fluencia
- σ_e = esfuerzo equivalente

Cálculo geométrico

En nuestro diseño tendremos geometrías rectangulares por lo cual es necesario saber la fórmula del área que viene dado por la multiplicación de su base b y su altura h cuya fórmula la denotaremos.

Ecuación 14

Área del rectángulo

$$A = b * h$$

Donde

- b = base
- h = altura

Momento de inercia

El momento de inercia (símbolo I) es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo.

Cuando un cuerpo gira en torno a uno de los ejes principales de inercia, la inercia rotacional puede ser representada como una magnitud escalar llamada momento de inercia.

Ecuación 15

Momento de inercia

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

Donde

- b = base
- h = altura

Esfuerzo máximo

La ecuación establece que el esfuerzo por flexiones directamente proporcional a la distancia y desde el eje neutro y al momento flexionante M .

Ecuación 16*Esfuerzo máximo*

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde

- M = momento flexionante
- c = distancia al eje neutro (centroide)
- I = momento de inercia

Fuerza

Se entiende como fuerza a cualquier acción o influencia que es capaz de modificar el estado de movimiento de un cuerpo, es decir, de impedirle una aceleración a ese cuerpo. En nuestro diseño manejaremos este término para encontrar fuerzas concernientes a peso de los rodillos.

Ecuación 17*Ecuación de fuerza*

$$F = m * a$$

Donde

- m = masa
- a = aceleración

Fuerza de rolado

Según (N-A-XTRA XABO, 2012) empresa proveedora de planchas de acero en sus recomendaciones en los procesos de conformado establece que la fuerza de rolado está dada por la expresión matemática que es a relación de ancho de la placa por el espesor al cuadrado por el límite a la tracción del material entre la distancia de centro entre rodillos que se describe a continuación.

Ecuación 18*Ecuación de rolado*

$$F = \frac{0.7 * b * h^2 * S_{ut}}{Lr}$$

Donde

- F = fuerza necesaria para rolar la placa de acero
- b = ancho de la placa
- h = espesor de la placa
- Sut = límite a la tracción del material
- Lr = distancia entre centro de rodillos

Fuerza de rozamiento

La fuerza de rozamiento es una que aparece cuando hay dos cuerpos en contacto y es una fuerza importante cuando se estudia el movimiento de los cuerpos. En nuestro diseño tendemos fricción en la operación de rolado así que es necesario conocer esta fuerza que también nos brindara información concerniente para a la elección de elementos para el tren motriz.

Ecuación 19*Fuerza de fricción*

$$F_r = \mu * N$$

Donde

- μ = Coeficiente de fricción
- N = Fuerza normal

Torsión

Torsión es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como puede ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos.

Ecuación 20*Ecuación de torsión*

$$T = F * r$$

Donde

- F= Fuerza
- r = Radio de curvatura

Esfuerzo cortante

Esfuerzos o tensión se da cuando las cargas actúan paralelas a la superficie de la sección transversal y se denomina esfuerzo cortante.

Ecuación 21*Esfuerzo cortante*

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

Donde

- T = Torque
- π = pi
- d = Diámetro del eje

Esfuerzo axial

Es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares (normales) a la sección transversal de un prisma mecánico

Ecuación 22*Esfuerzo axial*

$$\sigma = \frac{4F}{\pi * d^2}$$

Donde

- F = Fuerza normal
- π = pi
- d = Diámetro del eje

Esfuerzo flector

Al tener en nuestro diseño fuerzas de torsión por consecuente aparece el esfuerzo flector que para estudio se denominara mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 23

Esfuerzo flector

$$\sigma = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

Donde

- M_f = momento flector
- π = pi
- d = diámetro del eje

Momento flector

Se denomina momento flector un momento de fuerza resultante de una distribución flexionada o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión para lo cual expresaremos de la siguiente manera.

Ecuación 24

Momento flector

$$M = F * L$$

Donde

- F = Fuerza
- L = Longitud del eje

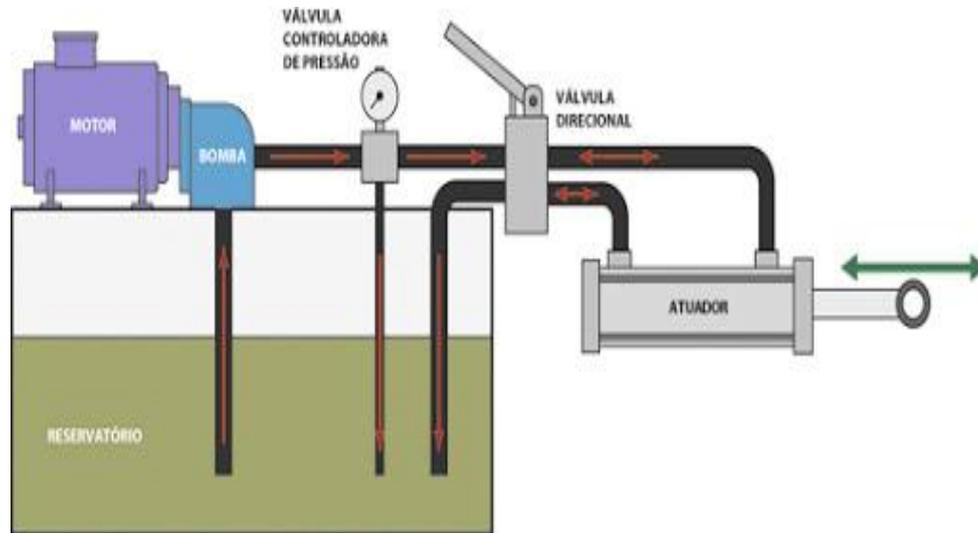
Sistema hidráulico

Un circuito hidráulico es un sistema que comprende un conjunto interconectado de componentes separados que transporta líquido. Este sistema se usa para controlar el flujo del fluido (como en una red de tuberías de enfriamiento en un sistema termodinámico) o controlar la presión del fluido (como en los amplificadores hidráulicos). Éstos, utilizan un fluido bajo presión para accionar maquinaria o mover componentes mecánicos. Los

sistemas hidráulicos se utilizan en todo tipo de entornos industriales grandes y pequeños, así como en edificios, equipos de construcción y vehículos (Mandi Control S.L., 2021).

Figura 16

Sistema hidráulico



Nota. En la figura 16 indica el sistema hidráulico con sus respectivos elementos. Tomado de (RECOPECAS, 2021).

Componentes hidráulicos

En todo circuito hidráulico hay tres partes bien diferenciadas: El grupo generador de presión, el sistema de mando y el actuador. El grupo generador de presión es el órgano motor que transfiere la potencia al actuador para generar trabajo. La regulación de esta transmisión de potencia se realiza en el sistema de mando que está formado por una serie de válvulas limitadoras de caudal y de presión, distribuidoras, de bloqueo, etc. (Mandi Control S.L., 2021).

Depósito

El depósito en un sistema hidráulico posee varias funciones, la más evidente de ellas es el almacenamiento de fluido del sistema, pero cumple otras funciones muy importantes tales como ayudar a enfriar el fluido a través de sus paredes o ayudar a precipitar los contaminantes sólidos de este mismo permitir asentarse a los contaminantes y el escape del aire comprimido. La mayoría de los sistemas hidráulicos de tamaño pequeño

a mediano utilizan los tanques o depósitos como base de montaje para la bomba, motor eléctrico, válvula de Alivio, y a menudo otras válvulas de control. Este conjunto se llama. "unidad de Bombeo", "unidad generada de presión" etc. (Unknown, 2015)

Figura 17

Depósito hidráulico



Nota. En la figura 17 se puede observar el depósito de fluido del sistema hidráulico. Tomado de (Unknown, 2015).

Bomba

La bomba hidráulica transmite energía mecánica a la energía hidráulica. Esto se hace por el movimiento del fluido que es el medio de transmisión. La energía mecánica se convierte en energía hidráulica mediante el caudal y la presión de una bomba hidráulica. Las bombas hidráulicas funcionan creando un vacío en la entrada de la bomba, forzando el líquido de un depósito a una línea de entrada y a la bomba. La acción mecánica envía el líquido a la salida de la bomba y, al hacerlo, lo introduce en el sistema hidráulico (Mandi Control S.L., 2021).

Hay varios tipos de bombas hidráulicas incluyendo engranajes, paletas y pistones. Todas estas bombas tienen diferentes subtipos destinados a aplicaciones específicas, como una bomba de pistón de eje curvo o una bomba de paletas de caudal variable (Mandi Control S.L., 2021).

Figura 18*Bomba hidráulica*

Nota. En la figura 18 se tiene una bomba hidráulica convierte la energía mecánica en energía hidráulica. Tomad de (Jose, 2017)

Válvulas

Las válvulas de presión son usadas en sistemas hidráulicos para controlar el funcionamiento de los actuadores de acuerdo a su carga establecida. Regulan la presión, y funcionan como elemento de seguridad ante alguna inconformidad en el sistema. De igual manera, limitan la presión máxima del sistema hidráulico. Y en casos específicos, regulan la presión reducida en ciertas partes del circuito. Las válvulas de presión hidráulicas se dividen por: Pilotadas y de acción directa. Evitan sobrecargas en la bomba, lo cual es importante para mantenerla en buenas condiciones y evitar daños al sistema hidráulico. Absorben picos de presión en el circuito, de esta forma evitan averías por alguna sobrepresión ocasionada por alguna falla de montaje o de programación. (Romero, 2015)

Figura 19*Válvulas hidráulicas.*

Nota. En la figura 19 se tiene las válvulas reguladoras de presión del sistema hidráulico. Tomado de (Romero, 2015).

Cilindros hidráulicos

Los actuadores hidráulicos son el resultado final de la ley de Pascal. Aquí es donde la energía hidráulica se convierte de nuevo en energía mecánica. Esto puede hacerse mediante el uso de un cilindro hidráulico que convierte la energía hidráulica en movimiento y trabajo lineal. Un cilindro hidráulico es un mecanismo que convierte la energía almacenada en el fluido hidráulico en una fuerza utilizada para mover el cilindro en una dirección lineal. También tiene muchas aplicaciones y puede ser de simple o doble efecto (Mandi Control S.L., 2021).

Figura 20

Cilindros hidráulicos



Nota. En la figura 20 indica un cilindro hidráulico doble efecto que sirven para realizar trabajos lineales.

Motores hidráulicos

La conversión de la presión y el flujo hidráulico en par (o fuerza de torsión) y luego en rotación es la función de un motor hidráulico, que es un actuador mecánico. El uso de estos es bastante adaptable junto con los cilindros hidráulicos y las bombas hidráulicas, los motores hidráulicos pueden unirse en un sistema de accionamiento hidráulico. Combinados con bombas hidráulicas, los motores hidráulicos pueden crear transmisiones hidráulicas (Mandi Control S.L., 2021)

Figura 21

Motor hidráulico



Nota. En la figura 21 indica un motor hidráulico con reductor planetario. Tomado de (Admin, 2021).

Mangueras hidráulicas

Las mangueras hidráulicas, fabricadas en caucho sintético y de gran resistencia, son necesarias en la mayoría de sistemas hidráulicos, ya que se pueden usar en espacios limitados y admiten movimiento, a la vez que transmiten la potencia necesaria para llevar a cabo un trabajo mecánico (Vallejo, 2017).

Figura 22

Mangueras hidráulicas.



Nota. En la figura 22 indica mangueras de alta presión para el sistema hidráulico y son las encargadas de transportar el fluido desde el depósito hacia los distintos actuadores. Tomado de (GRUMACOL, 2021).

Cálculo del sistema hidráulico

El diseño consta de cilindros hidráulicos por eso es necesario conocer la fuerza que se necesita para poder accionar los rodillos.

Ecuación 25

Fuerza de los cilindros hidráulicos

$$F = \frac{K}{S}$$

Donde

- F = Máxima fuerza sin que exista pandeo (KN)
- K = Carga de pandeo (KN)
- S = Factor de seguridad

Según (Paúl, 2008) Para aplicaciones estándar de S = 1,2. Si embargo, existen valores de referencia para maquinaria mediana cuyos factores están entre 3 y 5, y se usan factores de hasta 8 y 9 en caso de ascensores.

Ecuación 26

Ecuación de carga que afecta a pandeo.

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{Sk^2}$$

Donde

- K = Carga afecta a pandeo
- E = Módulo de elasticidad
- J = Momento de inercia
- Sk = Largo libre a pandeo

A partir de esta fórmula reemplazamos el momento de inercia en términos geométricos para poder determinar el diámetro del vástago del cilindro.

Ecuación 27

Ecuación carga que afecta a pandeo en términos generales

$$K = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot Dv^4}{64 \cdot Sk^2}$$

Donde

- Dv = Diámetro del vástago

Una vez despejado el diámetro del cilindro obtenemos la siguiente expresión

Ecuación 28

Ecuación diámetro del vástago

$$Dv = \left(\frac{64 \cdot Sk^2 \cdot K}{\pi^3 \cdot E} \right)^{0.25}$$

Donde

- Dv = Diámetro del vástago
- K = Carga afecta a pandeo
- E = Módulo de elasticidad
- Sk = Largo libre a pandeo

También en la cuestión del trabajo de los cilindros hay estos trabajan con presión por lo que es necesario determinar la presión de servicio que se denota de la siguiente manera.

Ecuación 29

Presión de servicio

$$p_e = \frac{F_e \cdot 10^4}{0,785 \cdot d^2}$$

Donde

- F_e = Fuerza de empuje o de elevación (KN)
- p = Presión de servicio (bar)
- d = Diámetro del embolo (mm)

Otro punto que tenemos que encontrar el caudal adecuado de la bomba el accionamiento todos los actuadores especialmente lo que concierne al motor hidráulico.

Ecuación 30*Caudal*

$$Q = V/t$$

Donde:

- V = Volumen
- t = Tiempo

En la operación de rolar hay que estar bajos de revoluciones en el eje motriz por eso es necesario encontrar la velocidad adecuada.

Ecuación 31*Velocidad angular*

$$\omega = \frac{2 * v}{2 * \pi * D}$$

Donde

- v = velocidad lineal
- ω = velocidad angular
- D = diámetro

Para la manipulación de los ejes necesitamos de un motor hidráulico el cual nos va dar la fuerza necesaria para mover cada uno de los rodillos en la operación de rolado por eso es importante considerar la potencia del mismo de la siguiente forma.

Ecuación 32*Potencia hidráulica*

$$P = \frac{Q * Pe}{1740}$$

Donde

- P = Potencia hidráulica
- Q = Caudal (galones por minuto)
- Pe = Presión

Sistema eléctrico

Energía

Se define como la capacidad de un dispositivo para realizar un trabajo. La energía eléctrica es la potencia consumida en un tiempo determinado. Se representa como E y aunque su unidad en el SI es el Julio, en muchos dispositivos eléctricos se mide en kilovatios hora (kWh) (Gabriel, 2012).

Ecuación 33

Consumo de energía

$$E = P * t \rightarrow I * V * t$$

Donde:

- E = energía consumida
- P = potencia
- T = tiempo
- I = intensidad de corriente
- V = voltaje

Selección del elemento de protección de la máquina (breaker)

Para seleccionar el breaker se consideró la corriente nominal del motor.

Ecuación 34

Potencia del motor eléctrico

$$P = V * I$$

Donde:

- P = potencia del motor eléctrico
- V = voltaje
- I = intensidad de corriente

Selección de conductores

Para la selección de conductores tenemos que tener en cuenta el consumo (intensidad de corriente) para según esto poder determinar el calibre del cable según lo diga la tabla 5 adjunta.

Tabla 5

Calibre de alambre Estadunidense

Sección AWG	Sección mm^2	Corriente (Amperios)
20	0.5	3
18	1	7
16	1.5	10
14	2.5	15
12	4	20
10	6	30
8	10	40
6	16	55
4	25	70

Nota. En la tabla 5 indica el calibre de alambre. Tomado de (ESTRUCTURAS DE CARGA, 2017)

Ecuación 35

Ecuación para determinar el consumo

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde

- I = Intensidad de corriente
- P = Potencia nominal del motor
- V = Voltaje de accionamiento

Selección de pulsadores

Para el accionamiento de la máquina se hará mediante pulsadores con lo que realizaremos la selección del pulsador con la corriente nominal y se multiplicará por la constante C.

Ecuación 36

Corriente del contactor

$$I_c = I_n * C$$

Donde

- I_c = corriente del contactor
- I_n = corriente nominal
- C = constante de disparo C

Para protección del motor eléctrico es necesario tener un guardamotor para el cual calcularemos mediante la fórmula.

Ecuación 37

Cálculo de guarda motor

$$I_n = \frac{P_e}{\sqrt{3} * V * \cos\theta}$$

Donde

- P_e = potencia efectiva
- V = voltaje de accionamiento
- $\cos\theta$ = factor de potencia

Como podemos ver necesitamos la potencia efectiva en la ecuación anterior para lo cual veremos cómo obtenerla mediante la siguiente expresión

Ecuación 38

Potencia efectiva

$$PE = \frac{P_m}{n}$$

Donde

- P_m = Potencia de entrada

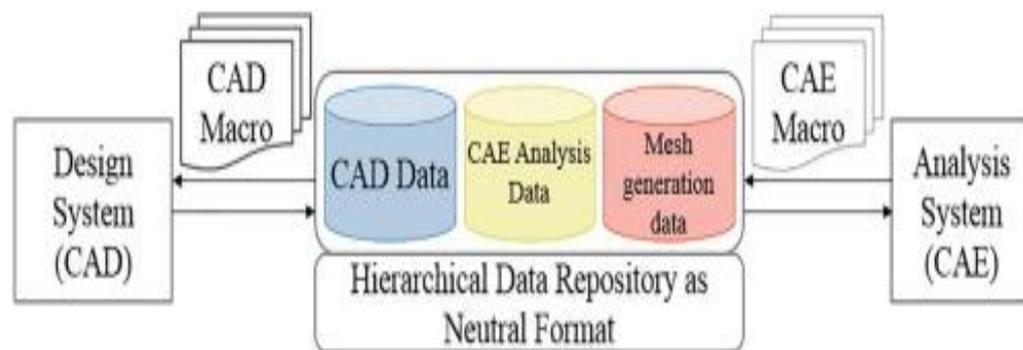
- n = Eficiencia

Sistemas CAD/CAE

El Diseño Asistido por Ordenador (CAD) y la Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) son dos de las herramientas imprescindibles para diseñar y desarrollar nuevos productos. Sistemas CAD ayudan a diseñar un nuevo producto de manera eficiente, mientras que los sistemas CAE se utilizan para predecir y evaluar las funcionalidades futuras (durabilidad, resistencia estructural, etc.) de un producto (Rashadul y otros).

Figura 23

Sistemas CAD/CAE



Nota. En la figura 23 representa el escenario general de la plataforma de integración CAD a CAE que permite diseñar, simular y analizar cualquier tipo de elementos mecánicos. Tomado de (Rashadul y otros).

Sistemas CAD (Diseño asistido por computadora)

Es un sistema que permite el diseño de objetos por computadora, presentando múltiples ventajas como la interactividad y facilidad de crear nuevos diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo antes de la construcción del prototipo, modificando, si es necesario, sus parámetros; la generación de planos con todo tipo de vistas, detalles y secciones, y la posibilidad de conexión con un sistema de fabricación asistida por computadora para la mecanización automática de un prototipo. También permite el diseño de objetos tridimensionales como diseño de piezas mecánicas, diseño de obras civiles, arquitectura, urbanismo, etc. (Qswaldo & Julio, 1999).

Sistemas CAE (Ingeniería asistida por computadora)

El modelo geométrico de un producto es el elemento central dentro del concepto de la CAE y consiste en la representación del mismo en la memoria de la computadora. Todos los demás elementos de la CAE utilizan esta descripción geométrica como punto de partida. Ejemplo, el contorno de la pieza puede emplearse para determinar el paso de la herramienta al mecanizarse mediante un sistema de control numérico (Qswaldo & Julio, 1999).

Soldadura

La soldadura es el proceso mediante el cual se realiza la unión de dos materiales, generalmente metales o termoplásticos. La soldadura se produce a través del proceso de fusión, en el cual los materiales son derretidos. Al enfriarse se convierte en una unión muy fuerte. Las soldaduras se utilizan mucho en toda industria que trabaje con metales o sus derivados (GARCÍA, 2021).

La soldadura se puede llevar a cabo a través de diferentes métodos, los cuales dependerán del tipo de material con el que se vaya a trabajar y la fuerza de la unión que se desee obtener. Es importante mencionar que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se están uniendo. (GARCÍA, 2021).

Figura 24

Soldadura en metales.



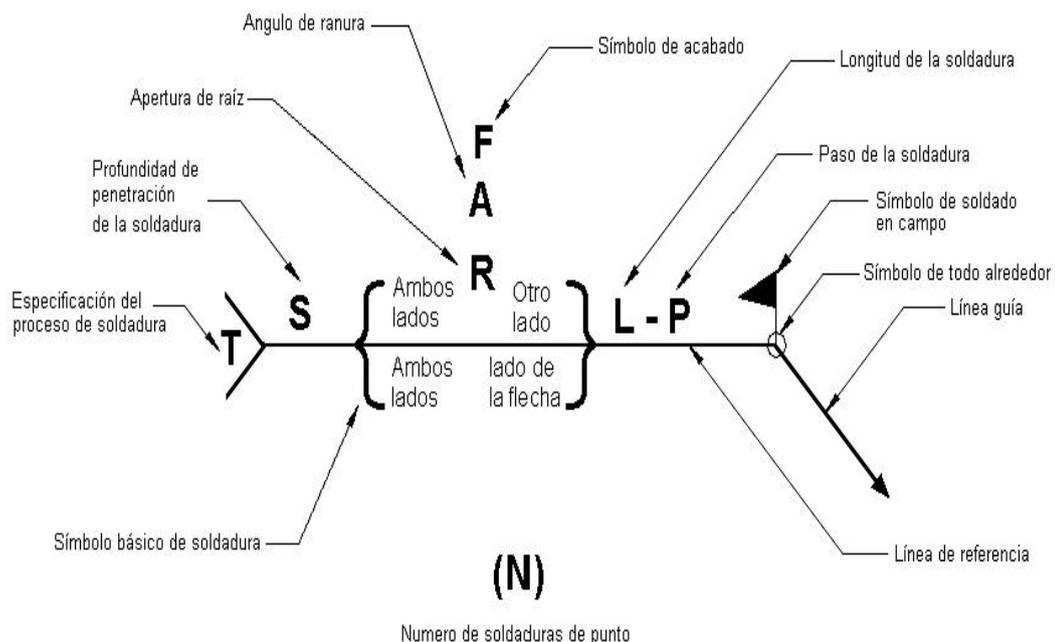
Nota. En la figura 24 indica el proceso de soldadura que se aplica en los diferentes materiales metálicos. Tomado de (GARCÍA, 2021).

Símbolos de soldadura

Una estructura soldada se fabrica soldando en conjunto un grupo de formas de metal, cortadas con configuraciones particulares. Durante la soldadura, las diversas partes se mantienen en contacto con firmeza, a menudo mediante abrazaderas o sujetadores. Las soldaduras deben especificarse con precisión en los dibujos de trabajo, lo cual se hace mediante los símbolos de soldadura, como los de la figura 18, los cuales han sido estandarizados por la American Welding Society (AWS). La flecha de este símbolo apunta hacia la unión que se va a soldar. El cuerpo del símbolo contiene todos los elementos que se consideran necesarios. (Shigley Richard G. Budynas, 2008)

Figura 25

Símbolos de soldadura



Nota. En la figura 25 se presenta el símbolo de soldadura con todas sus especificaciones. Tomado de (Labrador, 2019)

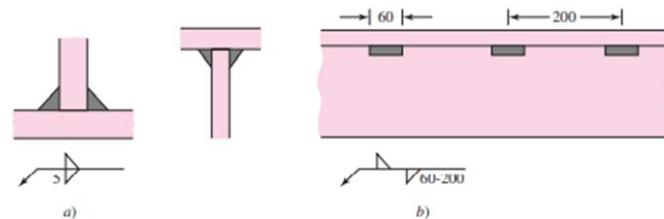
Tipos de soldadura

En las figuras de la 28 y 29 se ilustran los tipos de soldaduras que los diseñadores emplean con más frecuencia. En el caso de elementos generales de máquinas, la

mayoría de las soldaduras son de filete, aunque las soldaduras a tope se emplean mucho en el diseño de recipientes a presión. (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 26

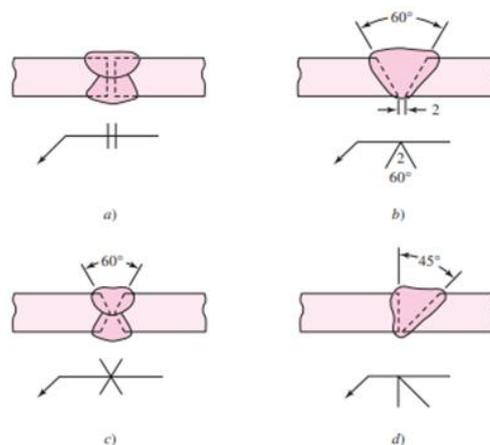
Soldadura de filete



Nota. En la figura 26 se muestra a) El número indica el tamaño del cateto; la flecha debe apuntar sólo hacia una de las soldaduras cuando ambos lados son iguales. b) El símbolo indica que las soldaduras son intermitentes y con longitud de 60 mm y con una distancia de 200 mm entre centros. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 27

Soldadura a tope



Nota. En la figura 27 se muestra soldaduras a tope o de ranura: a) cuadrada soldada a tope a ambos lados; b) V simple con bisel a 60° y abertura de la raíz de 2 mm; c) V doble; d) bisel sencillo. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

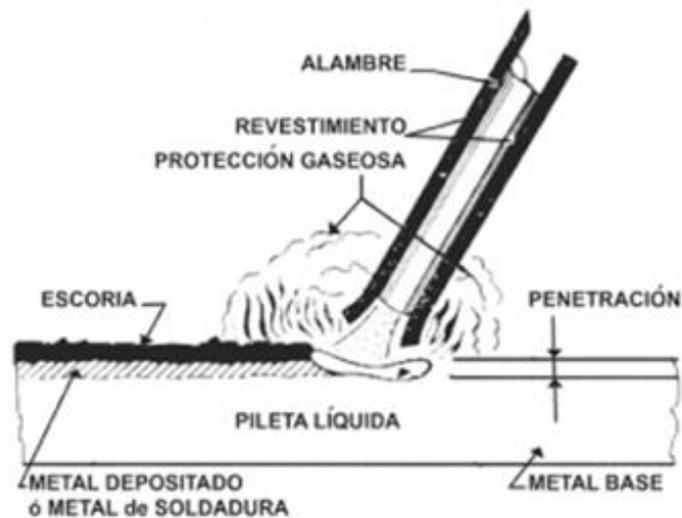
Soldadura con electrodo revestido SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

La soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido es la forma más común de soldadura. Mediante una corriente eléctrica (corriente alterna o corriente continua) se forma un arco eléctrico entre el metal a soldar y el electrodo utilizado,

produciendo la fusión de éste y su depósito sobre la unión soldada. Los electrodos suelen ser de acero suave, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera (GSANROD017, 2020).

Figura 28

Soldadura por arco eléctrico



Nota. En la figura 28 indica el proceso de soldadura por arco eléctrico. Tomado de (GSANROD017, 2020).

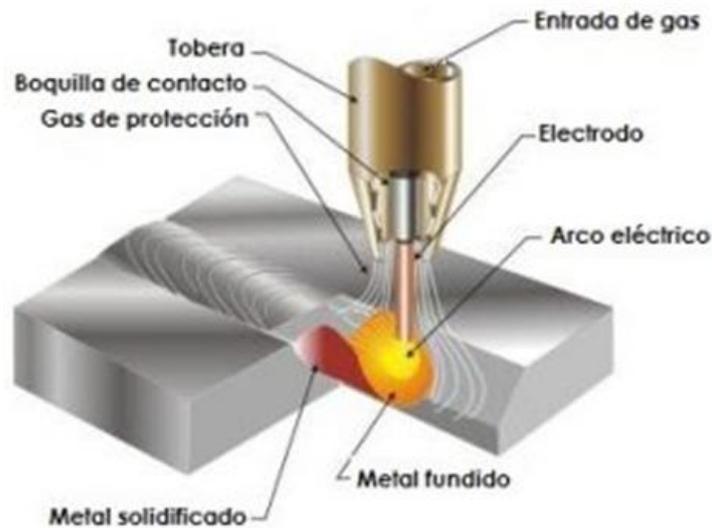
Soldadura MIG (Metal Inert Gas) y MAG (Metal Active Gas)

El La soldadura MIG/MAG es un proceso de soldadura similar al método de soldadura SMAW, tanto en principios y fundamentos como en equipos y metodología de aplicación sin embargo el método MIG/MAG presentan algunas características que la diferencian claramente de otros tipos de soldadura, nos dice (GSANROD017, 2020) las más importantes son:

- El electrodo es un largo un rollo de hilo metálico continuo sin revestimiento
- Los gases utilizados en la soldadura pueden ser activos (MAG) o inertes (MIG) y al no estar revestido el electrodo, los gases son suministrados desde recipientes herméticos a altas presione
- Solo pueden utilizarse fuentes de alimentación en corriente continua.

Figura 29

Soldadura MIG



Nota. En la figura 29 indica el proceso de soldadura MIG. Tomado de (GSANROD017, 2020).

Uniones no permanentes

Como su propio nombre indica, la unión entre los distintos componentes se realiza mediante la utilización de tornillos. La característica principal de este tipo de unión es que son desmontables, es decir la unión es reversible y no será necesario destruir ninguna parte de la unión (Bearcat, 2020)

Cojinetes

El rodamiento es el cojinete que minimiza la fricción que se produce entre el eje y las piezas que están conectadas a él. Esta pieza está formada por un par de cilindros concéntricos, separados por una corona de rodillos o bolas que giran de manera libre. Existen diferentes clases de rodamientos de acuerdo al tipo de esfuerzo que deben soportar en su funcionamiento. Hay rodamientos axiales, radiales y axiales-radiales según la dirección del esfuerzo (Pérez & Gardey, 2014)

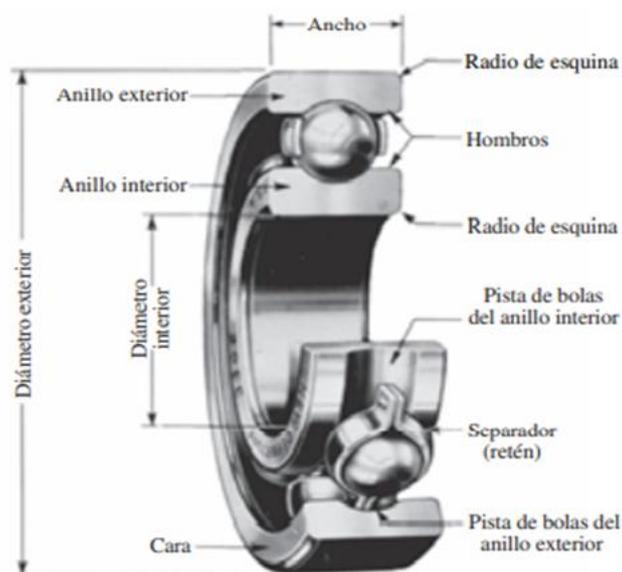
Tipos de cojinetes

Cojinetes de bolas

Los cojinetes se fabrican para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas. La nomenclatura de un cojinete de bolas se ilustra en la figura 32, en la que también se muestran las cuatro partes esenciales de un cojinete. Dichas partes son: el anillo exterior, el anillo interior, las bolas o elementos rodantes y el separador. (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 30

Cojinete de bolas.



Nota. En la figura 30 se observa la Nomenclatura de un cojinete de bolas. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

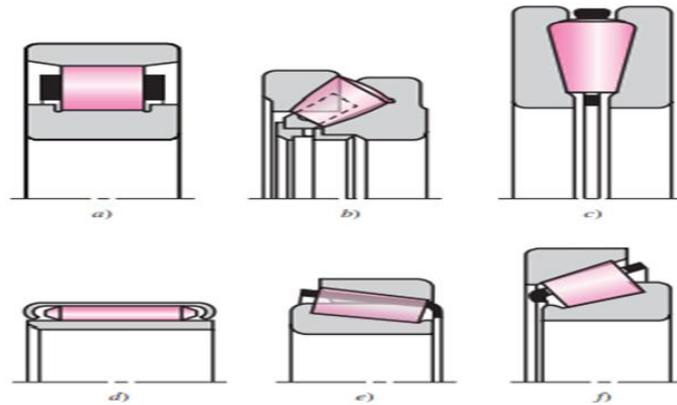
Cojinetes de rodillos

Los cojinetes de rodillos cilíndricos soportarán una carga mayor que los de bolas del mismo tamaño, debido a la mayor área de contacto. Sin embargo, presentan la desventaja de que requieren una geometría casi perfecta de las pistas y rodillos. Un ligero desalineamiento provoca que los rodillos se muevan oblicuamente y pierdan la alineación. Por esta razón, el retén debe ser grueso y resistente. Por supuesto, los

cojinetes de rodillos cilíndricos no se diseñan ni deben operar con cargas de empuje (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 31

Cojinetes de rodillos.



Nota. En la figura 31 se observa los Tipos de cojinetes de rodillos: a) rodillo recto; b) rodillo esférico, empuje; c) rodillo cónico, empuje; d) de agujas; e) rodillo cónico; f) rodillo cónico, ángulo agudo. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Capítulo III

Cálculo, diseño y selección de elementos de la máquina roladora.

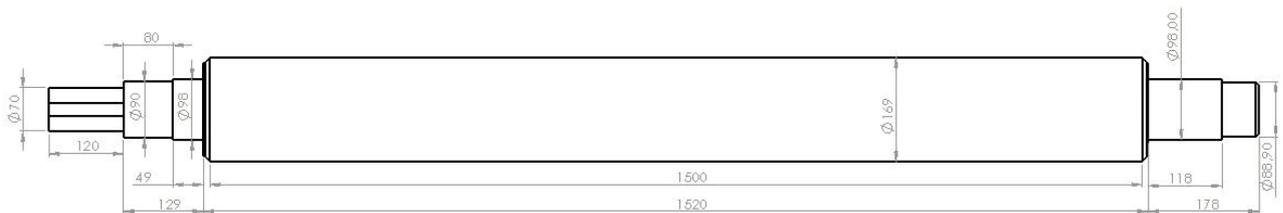
Donde

- L_r : longitud entre centros de rodillo inferior y laterales(225mm)
- b : ancho de la placa de acero ASTM A36(1220mm)
- h espesor de la placa de acero ASTM A36(6mm)
- S_{ut} : limite a tensión de la placa de acero ASTM A36 (550 MPa)
- D : diámetro de los rodillos (169mm)
- L : longitud de rodillo (1700mm)

Cálculo para rodillo superior

Figura 32

Esquema del rodillo superior

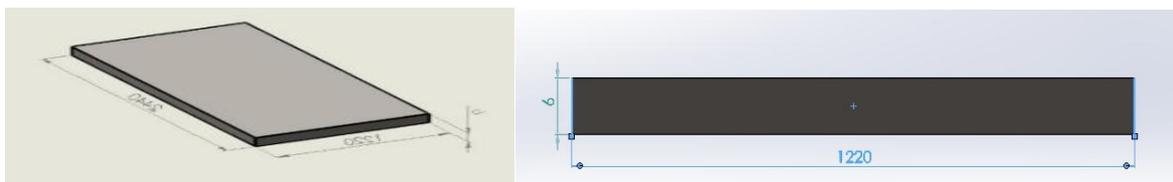


Nota. En la figura 32 se detalla las medidas del rodillo superior necesarias para el cálculo.

Medidas de la lámina de acero

Figura 33

Esquema lámina de acero

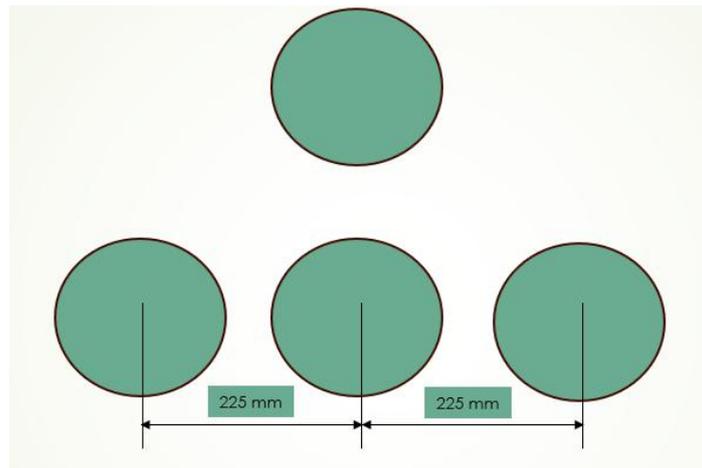


Nota. En la figura 33 se detalla las dimensiones de la lámina de acero necesaria para el cálculo.

Mediante la ecuación 17 se calcula la fuerza necesaria para poder rolar la lámina de acero descrita anteriormente. En la figura 33 y 34 se puede observar los valores de la placa de acero y la distancia L_r : longitud entre centros de rodillo inferior y laterales(225mm). Para calcular la fuerza que deformará plásticamente a la placa.

Figura 34

Distancia L_r entre rodillo central y rodillos laterales



Nota. En la figura 34 se puede observar la distancia L_r entre rodillo central y rodillos laterales.

Fuerza de rolado

$$F = \frac{0.7 * b * h^2 * S_{ut}}{L_r}$$

$$F = \frac{0.7 * 1220 * 6^2 * 550}{225}$$

$$F = 75152N$$

Resistencia por fatiga rotatoria

Para esto se utiliza la ecuación 9 para determinar el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina S_e , que establece:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_{\hat{e}}$$

Como podemos ver tenemos ciertos factores para el cálculo correspondiente, estos factores los calculan a continuación.

Mediante la ecuación 10 determinamos el valor de K_a conjuntamente con la figura 13 para los parámetros de $a = 4.51$ y $b = -0.265$, se utiliza estos valores debido a que nuestro rodillo es maquinado.

El material que se empleara es un acero 4340 y para sus propiedades mecánicas las tomaremos del Anexo 1 Tabla A-23 de (Shigley Richard G. Budynas, 2008) para este acero tiene una resistencia a la tensión de S_u de 1470 MPa.

K_a : Factor de modificación de la condición superficial superficie

$$k_a = a * (S_u)^b$$

$$k_a = 4,51 * (1470)^{-0,265}$$

$$k_a = 0.652$$

Para el factor de modificación del tamaño k_b se obtendrá mediante la ecuación 11 que nos brinda algunas estimaciones de acuerdo al diámetro del eje, en nuestro caso tenemos un diámetro de 70 mm que se encuentra en un rango de $51 < 254mm$ por lo tanto tenemos lo siguiente:

$$k_b = 1.51d^{-0.157}$$

$$k_b = 1.51(70)^{-0.157}$$

$$k_b = 0.774$$

Para el cálculo de k_c factor de modificación de carga utilizamos la tabla 3 y estimamos un factor de 1, porque nuestro rodillo está sometido a una carga de flexión.

$$k_c = 1$$

Para el factor de modificación k_d como vamos a operar a temperatura ambiente se escogerá un valor de 1

$$k_d = 1$$

Para el diseño estimaremos una confiabilidad del 50% ya que es un prototipo y no se tiene un valor real, mediante la tabla 4 se seleccionará K_e para el cual nos dice un valor de 1

$$k_e = 1$$

Para el cálculo se toma en cuenta que la zona del cuñero para realizar la estimación de concentrador de esfuerzo para lo cual vamos a utilizar la siguiente figura.

Figura 35

Concentradores de esfuerzo para cuñeros

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d=0.02$)	2.7	2.2	3
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d=0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d=0.02$)	2.2	3	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5	3	5

Nota. En la figura 35 se puede apreciar los concentradores de esfuerzo según el tipo de hombro, patín, maquinado y accesorio se va implementar. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

Para el caso se toma como un cuñero fresado por tanto el valor de torsión es:

$$Kf = 3$$

Para determinar el factor de resistencia del material utilizaremos las siguientes estimaciones en base a la resistencia a la tensión S_{ut} 1470 MPa del acero 4340

Ecuación 39

Estimaciones de S'_e

$$S'_e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Nota. En la ecuación 39 se observa la estimación de resistencia en base al límite de tracción del material en este caso del rodillo. Tomado de (Budynas & Nisbett, 2008)

En base a esto el valor de S'_e tendremos que es 700MPa para este acero

$$S'_e = 700 \text{ MPa}$$

Finalmente reemplazamos todos los valores encontrados en la fórmula de límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S_e = 0.652 * 0.774 * 1 * 1 * 1 * 3 * 700MPa$$

$$S_e = 1059.76MPa$$

Factor de seguridad según la ecuación de Ecuación de ED Goodman, con los siguientes estimaciones y datos obtenidos anteriormente

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

En el caso de los valores de M_a , M_m y T_a serán 0 ya que al ser ejes giratorios el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible. El torque que se utiliza para el cálculo es el máximo que tiene nuestro motor hidráulico.

Los datos que tenemos para encontrar el factor de seguridad son los siguientes:

$$d = 0.070m$$

$$S_e = 1059.76MPa$$

$$S_{ut} = 1470MPa$$

$$T_m = 13687Nm$$

$$M_a = 0$$

$$M_m = 0$$

$$T_a = 0$$

$$kfs = 3$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.070)^3} \left(\frac{1}{1470 \times 10^6} [3(3 * 13687)^2]^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\frac{1}{n} = 0.718$$

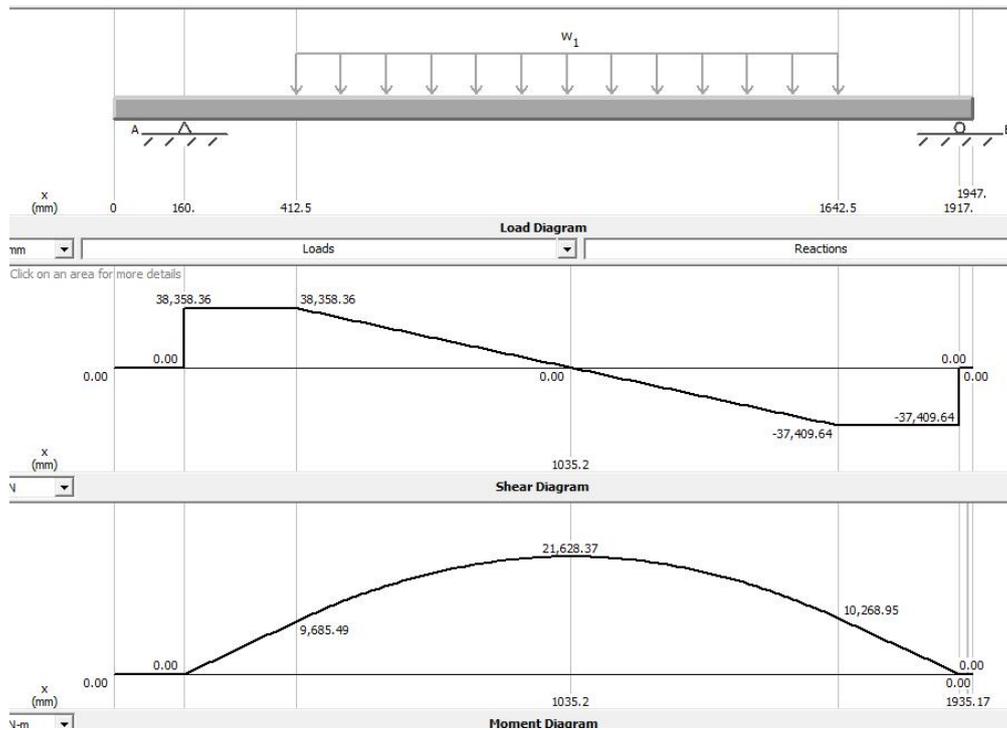
$$n = \frac{1}{0.718}$$

$$n = 1.39$$

Selección de rodamientos para el eje rolador.

Figura 36

Diagrama de fuerzas



Nota. En la figura 36 se denota el diagrama de fuerzas necesarios para la selección de rodamientos.

Mediante un análisis en el software MD Solid se determina las reacciones que se generan al aplicar la carga para rolar la lámina de acero.

$$FrA = 38358.36N$$

$$FrB = 37409.64N$$

Fuerza de empuje en el rodamiento A

Ecuación 40

Ecuación fuerza de empuje

$$FeA = 0.4FrA + 0.5 \frac{YA}{YB} * FrB$$

Donde

- FeA = Fuerza de empuje en el rodamiento A
- FrA = Fuerza de carga en el apoyo A

- $FrB = \text{Fuerza de carga en el apoyo B}$
- $YA = \text{Factor de calculo de rodamiento A}$
- $YB = \text{Factor de calculo de rodamiento B}$

Se calcula la fuerza de empuje en la reacción A

$$FeA = 0.4 * 38358.36 + 0.5 \frac{1.5}{1.5} * 37409.64$$

$$FeA = 34048.164N$$

La fuerza FeA es estática como los rodamientos trabajan en cargas dinámicas procedemos a calcular la carga dinámica para lo cual es importante conocer la vida de los rodamientos.

Ecuación 41

Vida de rodamientos

$$L_D = 60 * N * ln$$

Donde

- $L_D = \text{vida nominal en horas}$
- $N = \text{rpm a las cuales va trabajar}$
- $ln = \text{Vida sugerida de acuerdo a la aplicación de tipo de máquina}$

$$L_D = 60 * 10 * 30000$$

$$L_D = 18 \times 10^6$$

Ecuación 42

Carga dinámica de rodamientos

$$CA = FeA \left(\frac{LD}{LR} \right)^{\frac{1}{K}}$$

Donde

- $CA = \text{Carga dinámica}$
- $FeA = \text{Fuerza de empuje en el rodamiento A}$
- $LD = \text{Vida nominal en horas}$
- $LR = \text{Vida nominal básica en millón de rpm}$
- $K = \text{Exponente de la ecuación de la vida útil}$

Carga dinámica de A

$$CA = 34048.164 \left(\frac{18 \times 10^6}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$CA = 81035.52N$$

En el caso de B se toma la carga de reacción como la de empuje

$$FeB = FrB$$

$$FeB = 37409.64N$$

Carga dinámica de B

$$CB = 36798.72 \left(\frac{18 \times 10^6}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$CB = 87581.92N$$

En base a las cargas dinámicas tanto de A como B se realiza y preselección, en nuestro caso se usa el catálogo de SKF para poder conocer los nuevos factores de cálculo de los rodamientos a ser utilizados son los siguientes:

Para el rodamiento A se escoge el rodamiento SKF 22218 E ver Anexo 2 características del rodamiento.

Figura 37*Datos de cálculo rodamiento de rótula***Datos del cálculo**

Capacidad de carga dinámica básica	C	331 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	375 kN
Carga límite de fatiga	P _u	39 kN
Velocidad de referencia		3 800 r/min
Velocidad límite		5 300 r/min
Valor límite	e	0.24
Factor de cálculo	Y ₁	2.8
Factor de cálculo	Y ₂	4.2
Factor de cálculo	Y ₀	2.8

Nota. En la figura 37 tenemos los datos de carga y factor de cálculo necesarios para el cálculo. Tomado de (SKF).

Para el rodamiento B se escoge el rodamiento SKF 593/592 A ver Anexo 3 para ver características completas.

Figura 38

Datos de cálculo rodamiento cónico

Datos del cálculo		
Capacidad de carga dinámica básica	C	237 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	305 kN
Carga límite de fatiga	P _u	33.5 kN
Velocidad de referencia		3 400 r/min
Velocidad límite		4 300 r/min
Valor límite	e	0.44
Factor de cálculo	Y	1.35
Factor de cálculo	Y ₀	0.8

Nota. En la figura 38 tenemos los datos de carga y factor de cálculo necesarios para el cálculo. Tomado de (SKF).

Recalculando para rodamiento a con YA YB

$$FeA = 0.4FrA + 0.5 \frac{YA}{YB} * FrB$$

$$FeA = 0.4 * 38358.36N + 0.5 \frac{2.8}{0.8} * 37409.64$$

$$FeA = 80810.214N$$

Carga dinámica

$$CA = FeA \left(\frac{LD}{LR} \right)^{\frac{1}{K}}$$

$$CA = 80810.214 \left(\frac{18 \times 10^6}{1 \times 10^6} \right)^{\frac{3}{10}}$$

$$CA = 192330.4326N$$

En base al cálculo con los datos reales de los rodamientos se puede determinar que los rodamientos seleccionados cumplen para el propósito de la máquina roladora.

Análisis del rodillo lateral

Cálculo momento alternante y torque medio

Para el cálculo del eje por fatiga hay que tener en cuenta que es un eje rotatorio para el cual necesitamos determinar el momento alternante y el torque medio al cual va estar sometido cuando se role, para esto utilizaremos la fuerza determinada anteriormente, también las dimensiones del eje.

Mediante la ecuación del momento plástico de la placa se determina el momento alternante

Datos:

$$F = 75152N$$

$$L = 1,700m$$

Ecuación 43

Momento plástico

$$M = \frac{S_{ut} * h^2 * L}{4}$$

Donde:

- S_{ut} = Límite a la tracción del acero A36
- h = espesor
- L = Longitud del rodillo

$$M = \frac{550 \times 10^6 \times 0.006^2 \times 1.7}{4}$$

$$M = 8415Nm$$

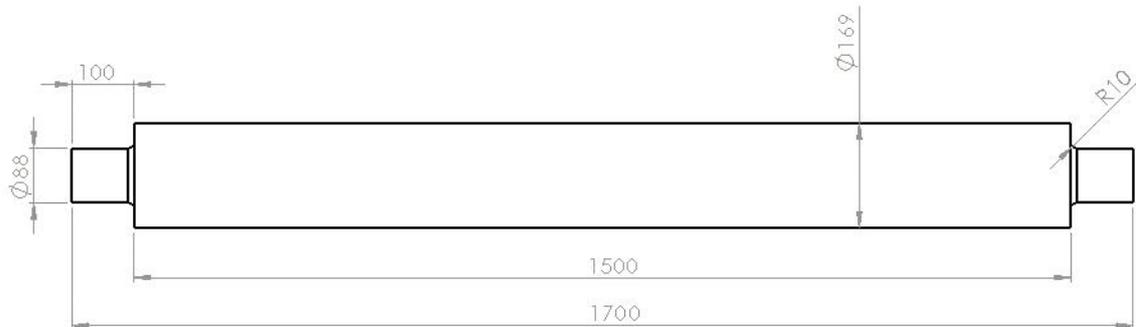
Para el torque medio tomaremos en cuenta el torque que nos brinda el motor hidráulico el cual encontraremos en el Anexo 4.

$$Tm = 13687 Nm$$

Diseño del rodillo por fatiga

Figura 39

Mediadas del rodillo lateral



Nota. En la figura 39 se determina las medidas del rodillo tanto del diámetro mayor de 169 mm, diámetro de las puntas de 88 mm, radio del redondeo de 10 mm y la longitud total para realizar el cálculo.

Resistencia por fatiga rotatoria

Para esto utilizaremos la ecuación 9 para determinar la resistencia S_e que establece

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e$$

Como podemos ver tenemos ciertos factores para el cálculo correspondiente, estos factores los calcularemos a continuación

Mediante la ecuación 10 determinamos el valor de K_a conjuntamente con la figura 13 para los parámetros de a , y b

El material que se empleara es un acero 4340 y para sus propiedades mecánicas las tomaremos del Anexo 1 para este acero tiene una resistencia a la tensión de S_{ut} de 1470 MPa.

K_a : Factor de modificación de la condición superficial superficie.

$$k_a = a * (S_u)^b$$

$$k_a = 4,51 * (1470)^{-0,265}$$

$$k_a = 0.652$$

Para el factor de modificación del tamaño k_b se obtendrá mediante la ecuación 11 que nos brinda algunas estimaciones de acuerdo al diámetro del eje $d = 88 \text{ mm}$ que se encuentra en un rango de $51 < 254 \text{ mm}$ por lo tanto tenemos lo siguiente:

$$k_b = 1.51d^{-0.157}$$

$$k_b = 1.51(88)^{-0.157}$$

$$k_b = 0.747$$

Para el cálculo de k_c factor de modificación de carga utilizamos la tabla 3 y estimamos un factor de 1, porque nuestro rodillo está sometido a una carga de flexión.

$$k_c = 1$$

Para el factor de modificación k_d como vamos a operar a temperatura ambiente se escoge un valor de 1, debido a que la máquina estará trabajando bajo condiciones de temperatura controlables.

$$k_d = 1$$

Para el diseño estimaremos una confiabilidad del 50% ya que es un prototipo y no se tiene un valor real, mediante la tabla 4 se escogerá el valor de 1

$$k_e = 1$$

Para el cálculo de k_f utilizaremos la ecuación 12 que utiliza factores de q y k_t , para la obtención de estos valores partimos de los siguientes diámetros $\phi_{menor} = 88 \text{ mm}$ y $\phi_{mayor} = 169 \text{ mm}$ por lo tanto se emplea la figura 14.

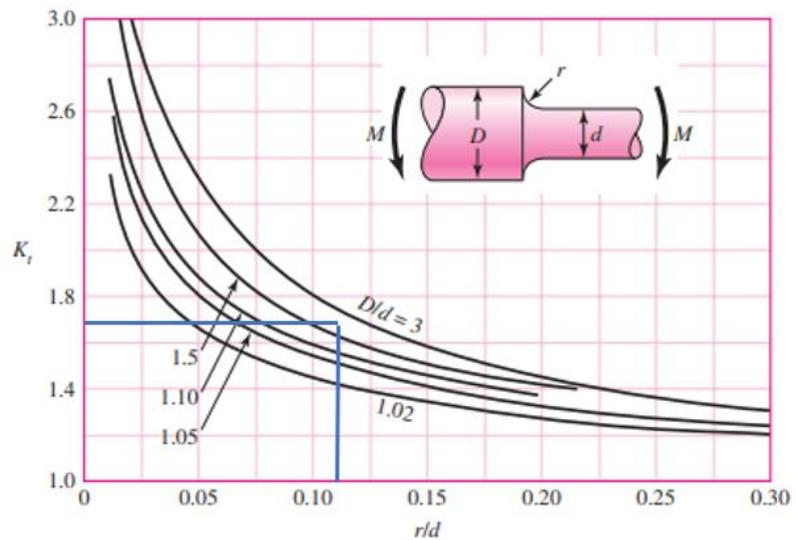
Para este factor primero se calcula el valor k_t mediante el uso de curvas establecidas en la figura 39

Figura 40

Estimación de K_t para el concentrador de esfuerzo.

Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



Nota. En la figura 40 se estima el k_t para el concentrador de esfuerzo en el hombro.

Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Utilizando los diámetros

$$\frac{D}{d} = \frac{169}{88} = 1.920$$

$$\frac{r}{d} = \frac{10}{88} = 0.1136$$

$$k_t = 1.7$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$k_f = 1 + 0.98(1.7 - 1)$$

$$k_f = 1.686$$

Para determinar el factor de resistencia del material utilizaremos las siguientes estimaciones

en base a la resistencia a la tensión S_{ut} 1470 MPa del acero 4340

$$S_e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

En base a esto el valor de S_e tendremos que es 700 MPa para este acero

$$S'_e = 700 \text{ MPa}$$

Finalmente reemplazamos todos los valores encontrados en la fórmula de límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S_e = 0.652 * 0.7476 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1,686 * 700 \text{ MPa}$$

$$S_e = 575.271 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad según la ecuación de Ecuación de ED Goodman, con los siguientes estimaciones y datos obtenidos anteriormente

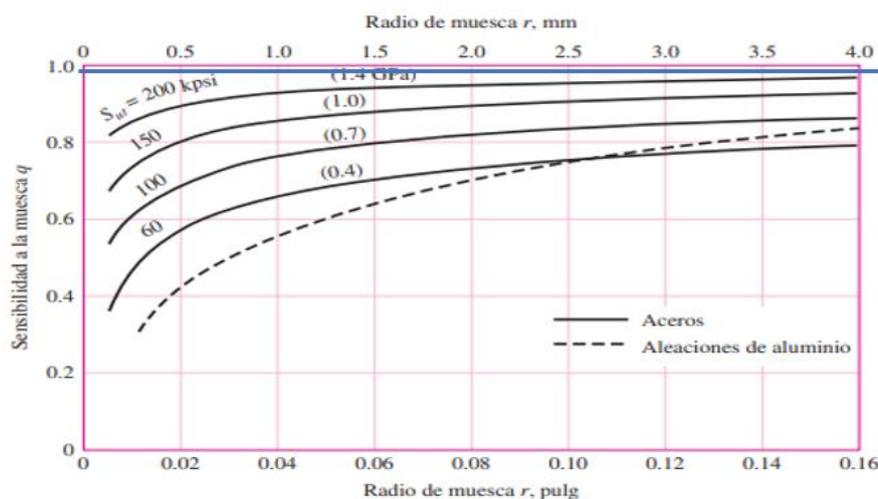
$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

Para esto tenemos concentradores de esfuerzo denotados por k_f y k_{fs} son los concentradores de flexión y torsión respectivamente, empezaremos con el cálculo de estos valores teniendo en cuenta que, en el caso de un eje giratorio, el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible.

Mediante la ecuación 12 lo determinaremos los valores de q y q cortante con la figura 14 y 15 respectivamente.

Figura 41

Estimación la muesca q

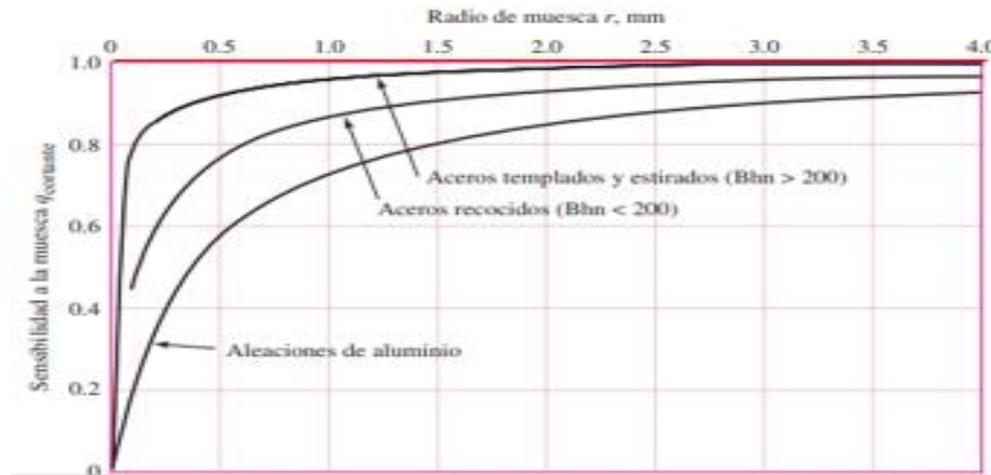


Nota. En la figura 41 se muestra el valor de $q = 0.98$. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

En base al radio de muesca = 10 mm y con la curva de la resistencia última del material intercecamos el valor de 0.98; cuando tenemos radios mayores a 4 mm el valor siempre va ser cercano a 1.

Figura 42

Estimación la muesca q cortante



Nota. En la figura 42 se muestra la el valor de $q_{cortante} = 0.99$. Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

En base al radio de muesca = 10 mm y con la curva de la resistencia última del material intercecamos el valor de 0.99; cuando tenemos radios mayores a 4 mm el valor siempre va ser cercano a 1.

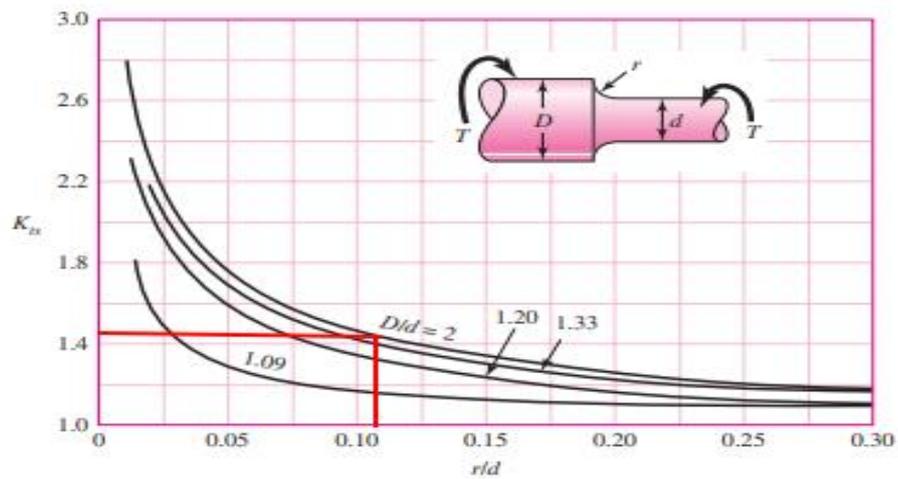
$$kf = 1 + q(kt - 1)$$

$$kfs = 1 + qcortante(kts - 1)$$

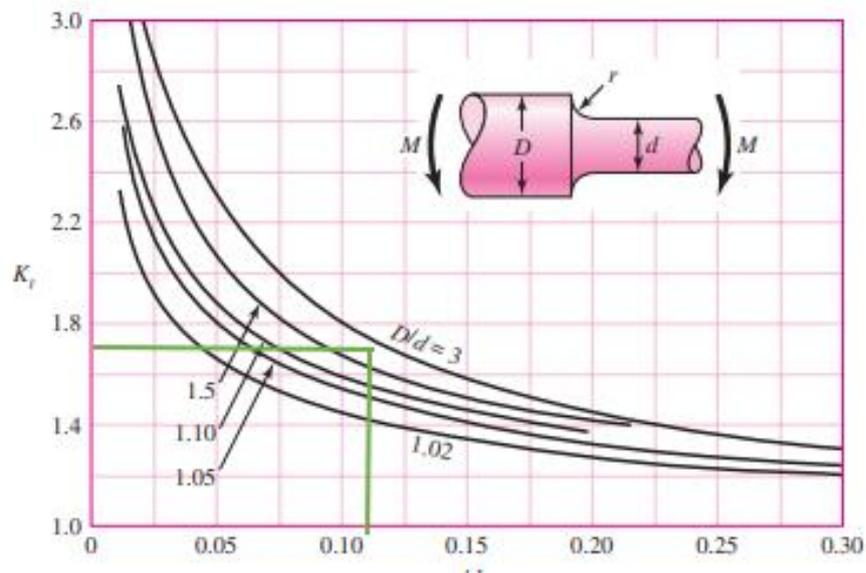
Para el valor de q estimamos un valor de 0.98

Para el valor de q cortante estimamos de 0.99

Para encontrar los concentradores de flexión y torsión tenemos que establecer el valor de kt y kts para su posterior reemplazo en la fórmula anterior según sea el caso.

Figura 43*Concentrador por torsión*

Nota. En la figura 43 se ve estimación de k_{ts} . Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Figura 44*Concentrador por flexión.*

Nota. En la figura 44 se ve estimación de k_t . Tomado de (Shigley Richard G. Budynas, 2008).

Para el valor de k_{ts} 1.45

Para el valor de k_t 1.7

$$kf = 1 + q(kt - 1)$$

$$kf = 1 + 0.98(1.7 - 1)$$

$$kf = 1.686$$

$$kfs = 1 + qcortante(kts - 1)$$

$$kfs = 1 + 0.99(1.45 - 1)$$

$$kfs = 1.445$$

Los datos que tenemos para encontrar el factor de seguridad son los siguientes:

$$d = 0.088m$$

$$S_e = 575.271MPa$$

$$S_{ut} = 1470MPa$$

$$T_m = 13687Nm$$

$$M_a = 8415Nm$$

$$kf = 1.686$$

$$kfs = 1.445$$

En el caso de los valores de M_m y T_a serán 0 ya que al ser ejes giratorios el momento flexionante constante creará un esfuerzo flexionante completamente reversible.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.088)^3} \left\{ \frac{1}{575.271 \times 10^6} \left[4(1.686 * 8415)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{1470 \times 10^6} \left[3(1.445 * 13687)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = 0.543$$

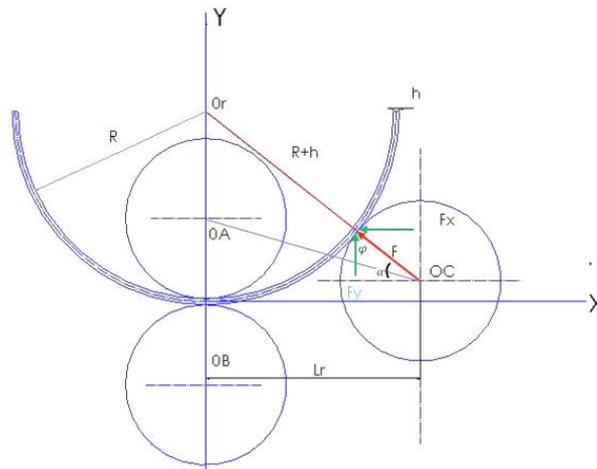
$$n = \frac{1}{0.543}$$

$$n = 1.84$$

Como se muestra en la figura 43 se calculará los ángulos α y ϕ para el rodillo lateral

Figura 45

Descomposición geométrica de fuerza del rodillo lateral



Nota. En la figura 45 se realiza la descomposición para hallar el ángulo de la fuerza de rozamiento.

Por lo tanto, deduciremos

$$\cos\alpha = \frac{Lr}{R + h + \frac{D}{2}}$$

$$\cos\alpha = \frac{225}{197 + 6 + \frac{169}{2}}$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{225}{197 + 6 + \frac{169}{2}}\right)$$

$$\alpha = 38.50^\circ$$

Podemos obtener el ángulo φ por complemento ya que hablamos de un triángulo rectángulo

$$\alpha + \varphi = 90^\circ$$

$$38.50^\circ + \varphi = 90^\circ$$

$$\varphi = 90^\circ - 38.5^\circ$$

$$\varphi = 51.50^\circ$$

Análisis de la fuerza de fricción entre el rodillo superior y la placa

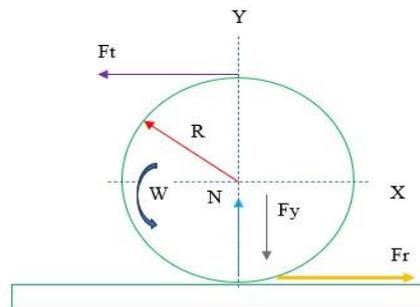
Donde:

- DCL = (Diagrama de Cuerpo Libre).
- Fr = fuerza de rozamiento.

- N = Fuerza normal.
- F_y = Fuerza requerida para la deformación.
- R = Radio del rodillo superior.
- W = Velocidad angular del rodillo.
- F_t = Fuerza necesaria para poner en marcha el rodillo.

Figura 46

Diagrama de cuerpo libre para hallar la fuerza de rozamiento



Nota. En la figura 46 se puede ver todas las fuerzas involucradas.

Para poder rolar es necesario encontrar la fuerza de rozamiento por lo tanto vamos a hacer una sumaria de fuerzas en el plano en X

Para lo cual utilizaremos la ecuación 19 establece lo siguiente

Fuerza de fricción

$$F_r = \mu * N$$

Donde

- μ = coeficiente de fricción
- N = fuerza normal

Según (Martos, 2020) menciona que el coeficiente de fricción de acero sobre acero es de 0.74

Para este sistema se deduce que

$$\Sigma F_x = m * a$$

Donde

- m = masa del rodillo
- a = aceleración

Para el sistema decimos que no hay aceleración porque la velocidad es constante durante el rolado de las láminas.

Por lo tanto, se determina que

$$\Sigma F_x = 0$$

$$FT - Fr = 0$$

$$FT = Fr$$

Donde

- FT : fuerza necesaria del motor
- Fr : fuerza de rozamiento entre la placa y el rodillo superior

A continuación, realizamos la sumatoria de fuerzas en el eje Y para determinar la fuerza

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - F_y = 0$$

$$N = F_y$$

$$F_y = \cos(51.50^\circ) * Fn$$

Donde

- Fn = es la fuerza necesaria para rolar

Con lo determinado en el eje y reemplazamos F_y en la ecuación de la fuerza de fricción.

Datos:

$$Fn = 75152N$$

$$\mu = 0.74$$

$$Fr = \mu * N$$

$$Fr = \mu * \cos(51.50^\circ) * Fn$$

$$Fr = 0.74 * \cos(51.50^\circ) * 75152N$$

$$Fr = 34619.58N$$

Como la fuerza de fricción es la misma que la que debe tener el motor a continuación se realizara la selección del motor en este caso por accionamiento se considera un motor hidráulico.

Selección de componentes hidráulicos

Selección de motor hidráulico.

La mayoría de motores se selecciona con el par que necesite para realizar la operación de la máquina para lo cual vamos a determinar el torque multiplicando la fuerza de rozamiento por el radio del rodillo.

Datos:

$$r = 84.5mm$$

$$F_r = 34619.58N$$

$$T = F * r$$

$$T = 34619.58N * 0.0845m$$

$$T = 2925.35Nm$$

A continuación, se denota el modelo y las características que tiene el motor la máquina roladora, el motor nos provee un torque superior lo cual satisface la necesidad, véase el Anexo 4 Para más características y circuito de accionamiento hidráulico.

Figura 47

Características motor hidráulico



Tamaño MCR3, MCR5, MCR10, MCR15

- ▶ Cilindrada de 160 cm³ a 2150 cm³
- ▶ Presión diferencial hasta 450 bar
- ▶ Par de salida hasta 13687 Nm
- ▶ Velocidad hasta 875 rpm
- ▶ Abierto y cerrado circuito

Nota. En la figura 47 se puede ver las características del motor para los cálculos. Tomado de (Rexroth bosch Group, 2017).

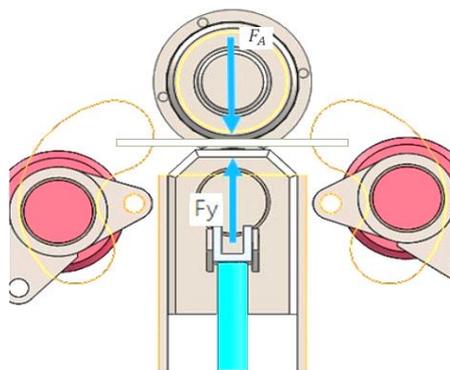
Diseño del sistema de regulación

Fuerza necesaria para accionar el cilindro hidráulico inferior

En el rodillo inferior identificamos las siguientes fuerzas: la fuerza de apriete (F_A), que es aquella necesaria para sujetar la plancha, y será proporcionada mediante un pistón hidráulico que actuará sobre el rodillo inferior.

Figura 48

Diagrama de la fuerza de empuje del cilindro inferior



Nota. En la figura 48 se representa la fuerza de agarre del cilindro inferior hacia al superior.

La fuerza necesaria es directamente proporcional a la reacción F_y .

A continuación, procedemos a calcular la carga con la consideración que F_y es igual a la fuerza normal deducida anteriormente

$$F_r = 34619.58N$$

$$\mu = 0.74$$

$$F_r = \mu * N$$

$$F_r = \mu * F_y$$

$$F_y = \frac{F_r}{\mu}$$

$$F_y = \frac{34619.58}{0.74}$$

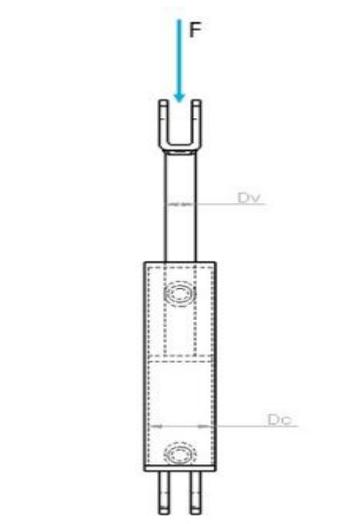
$$F_y = 46783.21N$$

$$F_y = F_A$$

Para garantizar la fuerza de empuje del cilindro tomaríamos en cuenta la fuerza F_y encontrada anteriormente más el peso del rodillo.

Figura 49

Fuerza de empuje del cilindro



Nota. En la figura 49 se representa la fuerza de empuje.

Selección de cilindros para el rodillo inferior.

Establecido lo anterior calcularemos los cilindros hidráulicos que puedan soportar esta carga

Con la ecuación 25 calcularemos la carga de pandeo.

Fuerza de los cilindros hidráulicos

$$F = \frac{K}{S}$$

Donde:

- F = Máxima fuerza sin que exista pandeo (KN)
- K = Carga de pandeo (KN)
- S = Factor de seguridad (5)

Para calcular k, primero tenemos que sumar la fuerza F_y más el peso del rodillo y este resultado lo dividimos para dos ya que el rodillo estará apoyado en sus extremos por dos cilindros hidráulicos.

$$F = \frac{46783.21 + 1330.236}{2}$$

$$F = 24056.723N$$

Luego determinamos K reemplazando el valor obtenido F y lo multiplicamos por un factor de seguridad de 5, porque consideramos a nuestro diseño una maquinaria mediana y el valor oscila entre 3 y 5.

$$K = F * S$$

$$K = 24056.723 * 5$$

$$K = 120283.615N$$

Con la ecuación 27 calculamos el diámetro del vástago.

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{S k^2}$$

$$K = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot Dv^4}{64 \cdot S k^2}$$

$$Dv = \left(\frac{64 \cdot S k^2 \cdot K}{\pi^3 \cdot E} \right)^{0.25}$$

$$Dv = \left(\frac{64 \cdot (462)^2 \cdot 120283.615}{\pi^3 \cdot 2.1 \cdot 10^5} \right)^{0.25}$$

$$Dv = 22.41mm$$

Como la mayoría de cilindros su capacidad de carga viene en toneladas hay que seleccionar un cilindro que cumpla con la carga a elevar en este caso utilizaremos datos conocidos como son la longitud que necesita regular el pistón inferior, en cuestión del mercado local, en el catálogo de Hydromecánica del Ecuador véase el Anexo 5 se encontró un cilindro disponible ya que la carrera tiene que ser la mínima para el ajuste de la placa.

Figura 50

Características de los cilindros del rodillo inferior central

MODEL	BORE x STROKE	RETRACT	ROD DIA.	COLUMN LOAD RATINGS	WT/LBS	LIST PRICE
WWCL2504-S	2.5 X 4	14.25	1.25	FULL PSI	19	166.72
WWCL2506-S	2.5 X 6	16.25	1.25	FULL PSI	21	174.15
WWCL2508-S	2.5 X 8	18.25	1.25	FULL PSI	23	181.58
WWCL2508-ASAE	2.5 X 8	20.25	1.25	FULL PSI	24	185.25
WWCL2510-S	2.5 X 10	20.25	1.25	FULL PSI	24	188.91
WWCL2512-S	2.5 X 12	22.25	1.25	FULL PSI	26	196.16
WWCL2514-S	2.5 X 14	24.25	1.25	FULL PSI	28	203.59
WWCL2516-S	2.5 X 16	26.25	1.25	FULL PSI	30	211.11
WWCL2518-S	2.5 X 18	28.25	1.25	FULL PSI	32	218.54
WWCL2520-S	2.5 X 20	30.25	1.25	FULL PSI	34	225.93
WWCL2524-S	2.5 X 24	34.25	1.25	14000 (2850 PSI)*	38	240.28
WWCL2530-S	2.5 X 30	40.25	1.25	9600 (1960 PSI)*	44	262.47
WWCL2536-S	2.5 X 36	46.25	1.25	7000 (1430 PSI)*	49	286.16
WWCL2548-S	2.5 X 48	58.25	1.25	3500 (710 PSI)*	50	331.39
WWCL3004-S	3 X 4	14.25	1.5	FULL PSI	24	201.82
WWCL3006-S	3 X 6	16.25	1.5	FULL PSI	26	211.07
WWCL3008-S	3 X 8	18.25	1.5	FULL PSI	29	220.17
WWCL3008-ASAE	3 X 8	20.25	1.5	FULL PSI	31	223.70
WWCL3010-S	3 X 10	20.25	1.5	FULL PSI	31	227.23
WWCL3012-S	3 X 12	22.25	1.5	FULL PSI	34	238.14
WWCL3014-S	3 X 14	24.25	1.5	FULL PSI	36	247.38
WWCL3016-S	3 X 16	26.25	1.5	FULL PSI	39	256.48
WWCL3018-S	3 X 18	28.25	1.5	FULL PSI	41	265.63
WWCL3020-S	3 X 20	30.25	1.5	18800 (2660 PSI)*	43	274.69
WWCL3024-S	3 X 24	34.25	1.5	14000 (1980 PSI)*	48	292.43
WWCL3030-S	3 X 30	40.25	1.5	9600 (1360 PSI)*	56	319.55
WWCL3036-S	3 X 36	46.25	1.5	7000 (990 PSI)*	63	348.25

Nota. En la figura 50 se detalla las principales características que nos sirven para realizar la selección. Tomado de (HYDROMECANICA DEL ECUADOR , 2016).

Se toma el cilindro WWCL3004-S cuyas características son las más cercanas en diámetro del vástago $d = 38.1$ mm en disponibilidad con el proveedor.

Selección de cilindros para rodillos laterales

Para la selección de los cilindros se tomará el mismo procedimiento anterior, como los dos rodillos laterales son de las mismas dimensiones y material se establecerá los mismos cilindros para la parte derecho e izquierda.

Para el cálculo del cilindro lateral utilizaremos la ecuación 25 la fuerza que ejerce la placa sobre el rodillo más el peso del mismo, carga que tendrá que soportar el cilindro.

Fuerza de los cilindros hidráulicos

$$F = \frac{K}{S}$$

Donde

- F: Máxima fuerza sin que exista pandeo (KN)
- K: Carga de pandeo (KN)
- S: Factor de seguridad (5)

Para calcular k, primero tenemos que sumar la fuerza F más el peso del rodillo y este resultado lo dividimos para dos ya que el rodillo estará apoyado en sus extremos por dos cilindros hidráulicos.

Donde F es la fuerza que determinamos en el principio la fuerza necesaria para rolar la placa de acero.

$$F = \frac{75152 + 1330.236}{2}$$

$$F = 38241.118N$$

$$K = F * S$$

$$K = 38241.118 * 5$$

$$K = 191205.59N$$

Con la ecuación 27 calculamos el diámetro del vástago.

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{S k^2}$$

$$K = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot Dv^4}{64 \cdot S k^2}$$

$$Dv = \left(\frac{64 \cdot S k^2 \cdot K}{\pi^3 \cdot E} \right)^{0.25}$$

$$Dv = \left(\frac{64 \cdot (765)^2 \cdot 191205.59}{\pi^3 \cdot 2.1 \times 10^5} \right)^{0.25}$$

$$Dv = 32.38 \text{ mm}$$

Figura 51

Características de los cilindros laterales.

MODEL	BORE x STROKE	RETRACT	ROD DIA.	COLUMN LOAD RATINGS	WT/LBS	LIST PRICE
WWCL2504-S	2.5 X 4	14.25	1.25	FULL PSI	19	166.72
WWCL2506-S	2.5 X 6	16.25	1.25	FULL PSI	21	174.15
WWCL2508-S	2.5 X 8	18.25	1.25	FULL PSI	23	181.58
WWCL2508-ASAE	2.5 X 8	20.25	1.25	FULL PSI	24	185.25
WWCL2510-S	2.5 X 10	20.25	1.25	FULL PSI	24	188.91
WWCL2512-S	2.5 X 12	22.25	1.25	FULL PSI	26	196.16
WWCL2514-S	2.5 X 14	24.25	1.25	FULL PSI	28	203.59
WWCL2516-S	2.5 X 16	26.25	1.25	FULL PSI	30	211.11
WWCL2518-S	2.5 X 18	28.25	1.25	FULL PSI	32	218.54
WWCL2520-S	2.5 X 20	30.25	1.25	FULL PSI	34	225.93
WWCL2524-S	2.5 X 24	34.25	1.25	14000 (2850 PSI)*	38	240.28
WWCL2530-S	2.5 X 30	40.25	1.25	9600 (1960 PSI)*	44	262.47
WWCL2536-S	2.5 X 36	46.25	1.25	7000 (1430 PSI)*	49	286.16
WWCL2548-S	2.5 X 48	58.25	1.25	3500 (710 PSI)*	50	331.39
WWCL3004-S	3 X 4	14.25	1.5	FULL PSI	24	201.82
WWCL3006-S	3 X 6	16.25	1.5	FULL PSI	26	211.07
WWCL3008-S	3 X 8	18.25	1.5	FULL PSI	29	220.17
WWCL3008-ASAE	3 X 8	20.25	1.5	FULL PSI	31	223.70
WWCL3010-S	3 X 10	20.25	1.5	FULL PSI	31	227.23
WWCL3012-S	3 X 12	22.25	1.5	FULL PSI	34	238.14
WWCL3014-S	3 X 14	24.25	1.5	FULL PSI	36	247.38
WWCL3016-S	3 X 16	26.25	1.5	FULL PSI	39	256.48
WWCL3018-S	3 X 18	28.25	1.5	FULL PSI	41	265.63
WWCL3020-S	3 X 20	30.25	1.5	18800 (2660 PSI)*	43	274.69
WWCL3024-S	3 X 24	34.25	1.5	14000 (1980 PSI)*	48	292.43
WWCL3030-S	3 X 30	40.25	1.5	9600 (1360 PSI)*	56	319.55
WWCL3036-S	3 X 36	46.25	1.5	7000 (990 PSI)*	63	348.25

Nota. En la figura 51 se detalla las características del cilindro que facilita la selección.

Tomado de (HYDROMECHANICA DEL ECUADOR , 2016).

Se utiliza el catálogo de Hidromecánica del Ecuador véase en el Anexo 5. Para encontrar el cilindro adecuado se tomará en cuenta el diámetro del vástago de 38.1 mm ya que es el más cercano al diámetro encontrado anteriormente, además el modelo WWCL3010-S es el único disponible en stock.

Dimensionamiento del tanque

Para dimensionar el tanque hay que tomar en cuenta el volumen de cada uno de los componentes del sistema para esto se calcula el volumen de cada uno de ellos con propósito que el depósito reservorio pueda almacenar el suficiente fluido hidráulico para todo el sistema.

Volumen de cilindros Laterales

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4}$$

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4} * 4$$

$$d = 76.2mm$$

$$c = 254mm$$

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4} * 4$$

$$V = \frac{\pi * 76.2mm^2 * 254mm}{4} * 4$$

$$V = 4.63 \times 10^6 mm^3$$

$$V = 4630 cm^3$$

$$V = 4.630 l$$

Volumen de cilindros inferiores

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4}$$

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4} * 2$$

$$d = 80mm$$

$$c = 100mm$$

$$V = \frac{\pi * 80^2 * 100}{4} * 2$$

$$V = 1 \times 10^6 mm^3$$

$$V = 1005.30 cm^3$$

$$V = 1.005 l$$

Volumen de motor hidráulico

Según el catálogo del fabricante del motor hidráulico véase en el anexo 4, nos establece la cilindrada de un rango de 160 a 2150 centímetros cúbicos para lo cual en nuestra máquina elegiremos el volumen máximo.

$$V_{motor} = 2150 cm^3$$

$$V_{motor} = 2.150l$$

Volumen de cilindro de acople

Figura 52

Características del cilindro de acople

MODEL	BORE x STROKE	RETRACT	ROD DIA.	COLUMN LOAD RATINGS	WT/LBS	LIST PRICE
WWXT3004-S	3 X 4	12	1.5	FULL PSI	19	191.56
WWXT3006-S	3 X 6	14	1.5	FULL PSI	22	200.80
WWXT3008-S	3 X 8	16	1.5	FULL PSI	24	209.90
WWXT3010-S	3 X 10	18	1.5	FULL PSI	27	218.96
WWXT3012-S	3 X 12	20	1.5	FULL PSI	29	227.88
WWXT3014-S	3 X 14	22	1.5	FULL PSI	32	237.12
WWXT3016-S	3 X 16	24	1.5	FULL PSI	34	246.22
WWXT3018-S	3 X 18	26	1.5	FULL PSI	36	255.37
WWXT3020-S	3 X 20	28	1.5	20700 (2930 PSI)*	39	264.42

Nota. En la figura 52 se detalla las características del cilindro que facilita la selección.

Tomado de (HYDROMECHANICA DEL ECUADOR , 2016).

Se utiliza el catálogo de Hidromecánica del Ecuador véase en el Anexo 5, en el catálogo se selecciona en base a la carrera = 355.6 mm, que cumple con la distancia de recorrido para acoplar y desacoplar el brazo del rodillo superior, además se utiliza el diámetro del cilindro = 76.2 mm, con estos valores se procede al cálculo del volumen.

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4}$$

$$V = \frac{\pi * d^2 * c}{4}$$

$$d = 76.2$$

$$c = 355.6mm$$

$$V = \frac{\pi * 76.2^2 * 355.6}{4}$$

$$V = 1.62 \times 10^6 mm^3$$

$$V = 1621.60\text{cm}^3$$

$$V = 1.621\text{l}$$

Volumen total del sistema

$$V_{total} = 4.630\text{l} + 1.005\text{l} + 2.150\text{l} + 1.621\text{l}$$

$$V_{total} = 9.40\text{l}$$

El volumen de sistema es de 9.40 litros por tanto el depósito tiene que abastecer ese volumen de fluido, por consideración de expertos se sugiere triplicar el volumen con el fin de garantizar aceite a todo el sistema.

Entonces el sistema tendrá que estar abastecido por un depósito de 28.2 litros por tanto se sugiere construir un depósito con las siguientes dimensiones (50x40x35), el mismo que servirá como base principal para la colocación en la parte superior de elementos de la unidad de potencia hidráulica.

Figura 53

Dimensionamiento del depósito



Nota. En la figura 53 se tiene la construcción del depósito del sistema hidráulico.

Cálculo de caudales

RPM del motor

Antes de calcular el caudal del motor vamos a encontrar los rpm del proceso de rolado, para lo cual, utilizaremos una velocidad de 3.7 m/min, sugerido por las ASM Página 1375. Véase el anexo 12.

$$\omega = \frac{2 * v}{2 * \pi * D}$$

$$\omega = \frac{2 * 3.7}{2 * \pi * 169}$$

$$\omega = 6.96 \text{ rpm}$$

Caudal del motor hidráulico

Ecuación de caudal

El volumen se tomará de un litro con fines de no sobredimensionar la bomba.

$$Q_{motor} = V * \omega$$

Donde

- V= volumen
- w = rpm

$$Q_{motor} = 1 * 6.96$$

$$Q_{motor} = 6.96 \left(\frac{l}{min} \right)$$

Caudal de cilindros

El valor de tiempo se estima en 13 segundos tiempo en que el cilindro hidráulico se desplaza desde la parte inferior a la parte superior.

$$V = 2.31l$$

$$Q_{cilindro} = \frac{V}{t}$$

$$Q_{cilindro} = \frac{2.31l * 60s}{13s * min}$$

$$Q_{cilindro} = 10.66 \left(\frac{l}{min} \right)$$

Selección de bomba

Para la selección de la bomba hidráulica se lo realiza del catálogo de Hidroneumatic para esto se hace uso del caudal mayor calculado que es $Q_{cilindro} = 10.66 \text{ l/min}$ con este valor seleccionamos la bomba ya que se acerca al valor calculado es el modelo de engranajes 2APF 06 con un caudal de 2.85 GPM y que tiene las siguientes especificaciones y detalla en la figura 52.

Figura 54

Bomba de engranajes de aluminio



Nota. En la figura 54 se observa la bomba que se instalará en el circuito hidráulico. Tomado de (HIDRONEUMATIC, 2013)

Para el caudal de la bomba se tiene que tomar en cuenta el mayor caudal porque el sistema tiene la consideración, para el accionamiento solo se puede accionar una electroválvula a la vez, ya que los movimientos están restringidos a funcionar independiente cada componente del sistema hidráulico.

Selección del motor eléctrico

Ecuación 44

Potencia hidrostática

$$P = \frac{Q * P_e}{1714} (HP)$$

Donde:

- GMP: galones por minuto de la bomba

- Presión: Dato de la bomba

$$Q_{bomba} = 2.85 \text{ GPM}$$

$$Presion = 3000 \text{ psi}$$

$$P = \frac{Q * Pe}{1714} (HP)$$

$$P = \frac{2.8 * 3000}{1714} (HP)$$

$$P = 4.90 \text{ HP}$$

Para el accionamiento de la bomba se va utilizar un motor eléctrico del catálogo de WEG con la potencia de 5HP el modelo w22 con un voltaje de funcionamiento de 220V (WEG, 2020).

Figura 55

Motor monofásico

Código	Potencia	Carcasa	Voltaje VAC	Forma Construc.	Modelo	Precio
14138045	0.25HP (0.18kW)	63	110 - 220	B3L	W22	118.68
14369558	0.5HP (0.37kW)	71	110 - 220	B3L	W22	139.45
14138047	0.75HP (0.55kW)	80	110 - 220	B3L	W22	156.57
14016484	1HP (0.75kW)	90S	220	B3L	W22	218.38
14217378	1HP (0.75kW)	90S	110 - 220	B3L	W22	247.63
14020545	1.5HP (1.1kW)	90L	110 - 220	B3L	W22	325.96
14138120	1.5HP (1.1kW)	90L	220	B3L	W22	271.29
14001167	2HP (1.5kW)	100L	220	B3L	W22	347.55
13841626	3HP (2.2kW)	112M	220	B3L	W22	373.95
13797390	5HP (3.7kW)	132SM	220	B3L	W22	550.34
13842093	7.5HP (5.5kW)	132M	220	B3L	W22	634.07
13797314	10HP (7.5kW)	132M	220	B3L	W22	720.43

Nota. En la figura 55 se observa las características del motor que acciona a la bomba hidráulica por medio un matrimonio bomba-motor. Tomado de (WEG, 2020).

Selección de electroválvulas

La selección de las electroválvulas se las realizó tomando en cuenta el caudal del sistema que está dada por la bomba, así como la presión de trabajo para nuestra máquina roladora vamos a colocar una válvula 4 vías 3 posiciones accionada eléctricamente por solenoide (110 V) AC CETOP3 por la disponibilidad en el mercado y porque son las que

más se acercan al valor requerido para el trabajo a continuación se indica el modelo de electroválvula y sus especificaciones técnicas véase el Anexo 6 Manual de electroválvulas (TDZ) se toma en cuenta el modelo SWH-G02-C6

Figura 56

Electroválvulas 4 vías 3 posiciones

Temp. de trab. / Working Temp: 5°C - 60°C
 Visc. de aceite / Oil viscosity: 15 - 300 cst
 Filtración / Filtering: 25 micras

Éstandar Standard		Inversa Inverted		Esquemas Schemes	Referencias P/N	Caudal Máx. Max flow		
Esquemas Schemes	Referencias P/N	Esquemas Schemes	Referencias P/N					
	C2B		C2BS	2 posiciones cen- trada por muelle 2 positions spring-centered	SWH-G02-B2	30 - 63		
	C3B		C3BS		SWH-G02-B3			
	C4B		C4BS		SWH-G02-B20			
	C40B		C40BS	3 posiciones cen- trada por muelle 3 positions spring-centered	SWH-G02-C2			
	C5B		C5BS		SWH-G02-C3			
	C6B		C6BS		SWH-G02-C4			
	C9B		C9BS		SWH-G02-C40			
	C10B		C10BS		C10BS		SWH-G02-C5	20 - 40
					SWH-G02-C6			
					SWH-G02-C9			
					SWH-G02-C11			

Nota. En la figura 56 se denota algunos modelos de válvulas para la selección se determina una válvula 4/3 accionada por solenoide eléctrico. Tomado de (TDZ).

Mangueras

Para la selección de manguera se toma en cuenta el caudal que esta puede transportar, así como la presión a la que puede trabajar.

Ecuación 45

Ecuación de caudal

$$Q = V * A$$

Donde:

$$V = \text{Veocidad del fluido } m/s^2$$

$$A = \text{Área de la tubería } m^2$$

Descomponiendo el área tenemos la fórmula en función del diámetro

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Q = V * \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Datos

$$Q = 2.85GPM$$

Para velocidad se utiliza la figura que establece los parámetros de selección en base a la presión de trabajo, la cual en nuestro sistema entraremos en el rango de 100 a 300 bares dándonos la velocidad en tubería de 4.5 a 6 m/s, para el cálculo del sistema de la máquina roladora se establecerá una velocidad de 4.5 m/s a una presión de trabajo de 200 bares.

Figura 57

Estimación de velocidad del fluido en tuberías

VELOCIDADES DEL FLUIDO EN TUBERÍAS			
Conductos	Velocidades del fluido en m/s.		
	Presiones de trabajo en bar.		
	de 0 a 25	de 25 a 100	de 100 a 300
De presión	de 3,0 a 3,5	de 3,5 a 4,5	de 4,5 a 6,0
De alimentación		de 0,5 a 1,0	
De retorno		de 1,5 a 2,0	

Aspiración ←

Nota. En la figura 57 se puede ver las velocidades según la presión de trabajo y tipo de conductos se va utilizar. Tomado de (Sarmiento, 2021).

$$Q = 2.85GPM$$

$$Q = \frac{2.85G * 3.785l * 0.001m^3 * min}{min * G * l * 60s}$$

$$Q = 1.66x10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1.66x10^{-4}}{\pi * 4.5}}$$

$$d = 6.85 \times 10^{-3} m$$

$$d = 6.85 \times 10^{-3} * 1000$$

$$d_{interior} = 6.85 \text{ mm}$$

Las mangueras escogidas para las conexiones entre las electroválvulas y los actuadores (cilindros y motor) que cumplen con las demandas de presión se selecciona de la página de Impofreico el modelo *SAE-100R2 AT* con diámetro interior 3/8 que nos brinda una presión de trabajo de 4785 psi por tanto cumple con lo requerido para la operación del sistema hidráulico.

Selección de mangueras hidráulicas.

Figura 58

Mangueras Impofreico

CÓDIGO ALFFLEX	CÓDIGO ALFAGOMMA	CÓDIGO DAYCO	CÓDIGO STAR PLUS	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO INTERNO	MÁX. PRESIÓN DE TRABAJO RECOM. (PSI)
104020	102420	104230	109912	1/4"	4	5800
104022	102460	104232	109913	3/8"	6	4785
104024	102480	104234	109914	1/2"	8	3988
104025	102500	104236	109915	5/8"	10	3625
104026	102540	104238	109916	3/4"	12	3118
104028	102580	104240	109917	1"	16	2000
104030	102620		109918	1" 1/4	20	1813
104031	102621		109918A	1" 1/2	24	1305
104032	102622			2"	32	1131

Nota. En la figura 58 se detalla las características principales como diámetro interno y presión máxima de trabajo primordial para la elección. Tomado de (IMPOFREICO S.A, s.f.).

Selección de conductores de electroválvulas

Los solenoides de las electroválvulas tienen un consumo nominal de 10 A entonces el conductor debe tener la capacidad de poder conducir la suficiente corriente y voltaje que en nuestro caso las electroválvulas son de 110V, en base al catálogo de Electro cable el conductor adecuado para realizar las conexiones en las electroválvulas serán de calibre

AWG número 16 el cual nos brinda las prestaciones exactas de la electroválvula tanto en corriente como en voltaje.

Figura 59

Catálogo Electrocables

◀ Conductor de cobre flexible para 300 V o 600 V aislado con policloruro de vinilo (PVC), resistente al calor elevado. ▶

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos				
18	0,823	12	0,76	2,72	13,82	7
16	1,31	19	0,76	3,03	19,21	10
14	2,08	30	0,76	3,42	27,41	15

Nota. En la figura 59 se muestra las características del conductor calibre y corriente nominal. Tomado de (ELECTROCABLES, 2018).

Selección de pulsadores

El pulsador tipo industrial que se implementara es el encargado de manipular las electroválvulas mediante pulsos eléctricos accionados de manera manual, por lo tanto, para esto el pulsador debe poder soportar la corriente de accionamiento de las electroválvulas de son de 10 A, en el sitio web de Sitio web de Schneider Electric EE. UU. encontramos el pulsador, Harmony XB5, plástico, empotrado, verde, 22 mm, retorno por resorte, sin marcar, 1NA

Figura 60

Características del pulsador tipo botón

Protección contra cortocircuitos	Fusible de cartucho de 10 A gG EN/IEC 60947-5-1
[I _{th}] corriente térmica de aire libre convencional	10A EN/IEC 60947-5-1
[U] tensión nominal de aislamiento	600 V 3)EN/IEC 60947-1
[U _{imp}] tensión soportada de impulso nominal	6 kV EN/CEI 60947-1

Nota. En la figura 60 tenemos las características de corriente para el pulsador en corriente y protección. Tomado de (SCHNEIDER, 2023).

Protección de motor eléctrico

Para la protección de nuestro motor eléctrico tenemos que tomar en cuenta el consumo que se calcula con el factor de potencia y su potencia nominal

Ecuación 46

Consumo de motor

$$I_m = \frac{\text{Potencia de motor KW}}{\sqrt{3} * V * \cos\phi}$$

Donde:

Potencia: 3.7 KW

Voltaje 220 V

Cosφ:0.82 para motor 5HP tomado de (IMATESA , 2023)

$$I_m = \frac{3.7 \times 10^3}{\sqrt{3} * 220 * 0.82}$$

$$I_m = 11.84 \text{ A}$$

Según el catálogo el contactor para proteger a este motor seleccionamos un breaker de 2 polos 16 Amperios escogeremos Marca: SQUARE D SKU: QO216, porque es el que mas se acerca al valor calculado.

Diseño

Mediante el un software CAD se procede al modelar los rodillos, estructura de la máquina roladora para validar los resultados analíticos como esfuerzo de máximo, factor de seguridad, deformaciones y desplazamiento en los puntos más críticos.

Modelado 2d

En el modelado de planos se especifica las dimensiones generales de la máquina, así también se denota cada uno de los componentes con medida y detalles en la estructura

Anexo 7, parte hidráulica Anexo 8 y parte eléctrica Anexo 9

Modelado 3d

En el modelado 3d se denota la geometría de la máquina, así como también la ubicación de cada uno de los elementos de los diferentes sistemas que componen la estructura y los componentes hidráulicos principales. Véase el Anexo 10

Simulación rodillos

La validación de rodillos sirve para corroborar los resultados obtenidos de manera analítica y así poder brindar seguridad a estos elementos, el cual, están sujetos a sufrir esfuerzos máximos, deformaciones, desplazamientos y poder comparar el factor de seguridad teórico con el factor de simulación, y con la ayuda de un software CAE poder corregir posibles fallos.

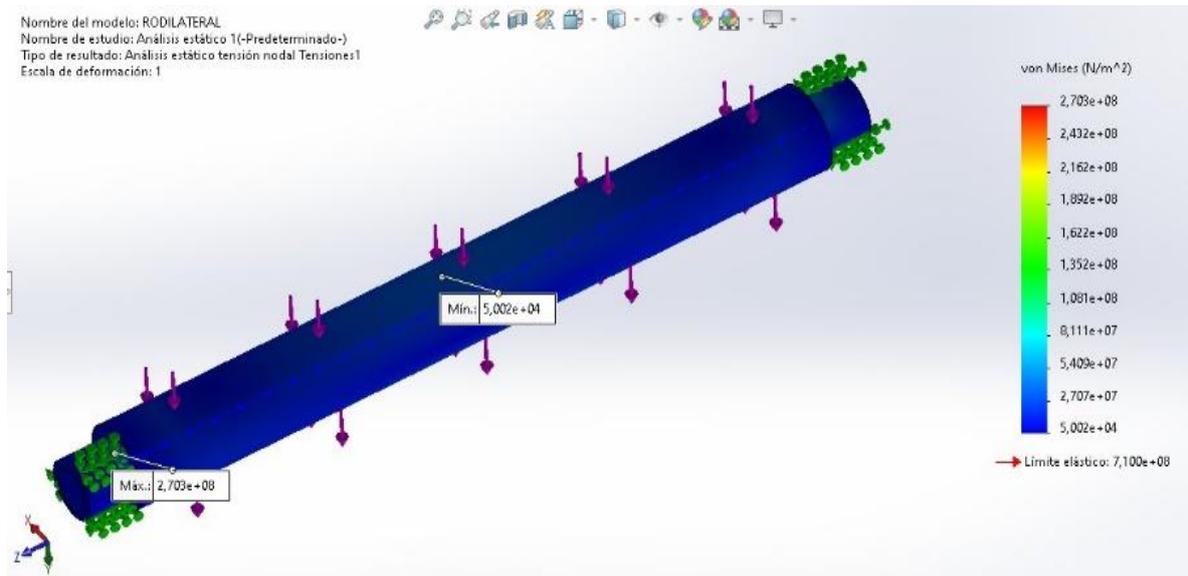
Rodillo lateral

El esfuerzo máximo de Von Mises obtenido en la simulación es de 2.703×10^8 N/m². valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia del material 4340, que es de 7.10×10^8 N/m². Por lo tanto, se concluye que el rodillo no fallará bajo esta carga. Además, se pudo apreciar que el desplazamiento máximo del eje es de 0.322 mm, ocurriendo principalmente en la parte central del rodillo. La deformación que presenta el rodillo bajo esta carga es de 0.001 mm, lo cual es una deformación bastante baja.

En consecuencia, podemos afirmar que la tarea de rolado no se verá afectada por la carga analizada. Al analizar el factor de seguridad, se identificó que la zona con mayor riesgo es en el cambio de sección del diámetro menor de 88 mm al diámetro mayor de 169 mm, obteniendo un valor de 1.7 en la simulación, mientras que el valor calculado fue de 1.8. Esta diferencia es insignificante, por lo tanto, se concluye que la zona en cuestión también cumple con un margen de seguridad adecuado.

Figura 61

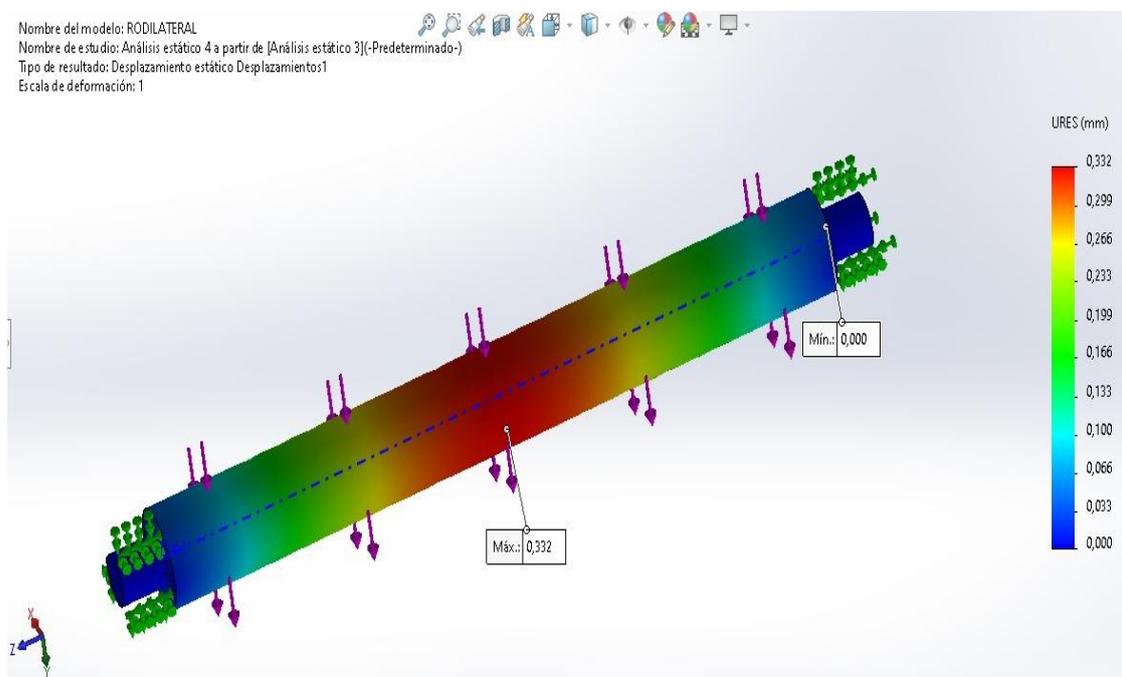
Simulación de esfuerzo de Von Mises



Nota. En la figura 61 se puede observar el esfuerzo máximo y mínimo al someter a la carga para rolar la placa de acero.

Figura 62

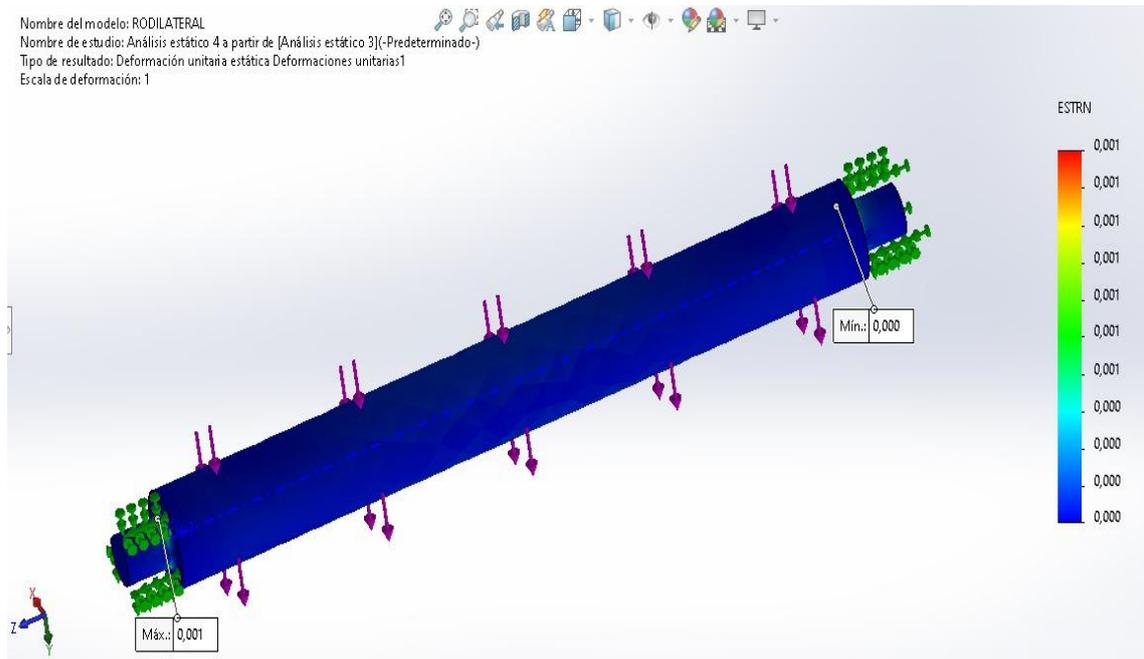
Desplazamiento del rodillo



Nota. En la figura 62 se muestra el desplazamiento en mm que sufre el rodillo lateral al ser sometido a la carga de rolar.

Figura 63

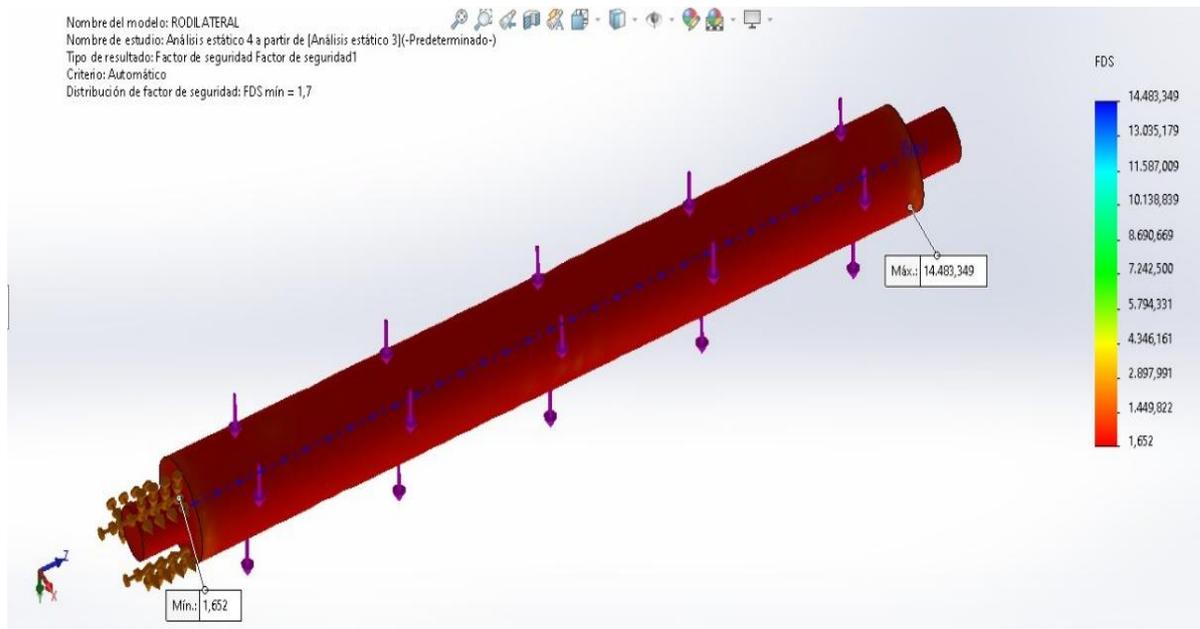
Deformaciones unitarias del rodillo



Nota. En la figura 63 se puede apreciar la deformación máxima y mínima.

Figura 64

Factor de seguridad del rodillo



Nota. En esta figura 64 se determina el factor de seguridad y determinar si el diseño es fiable.

Tabla 6*Resultado de la simulación del rodillo lateral*

Parámetro	Valor
Diámetro del rodillo	169mm
Material	4340
Carga	75152
Tensión de Von Mises	$2.703 \times 10^8 \text{N/m}^2$
Desplazamiento	0.332
Deformación	0.001
Factor de seguridad	1.7

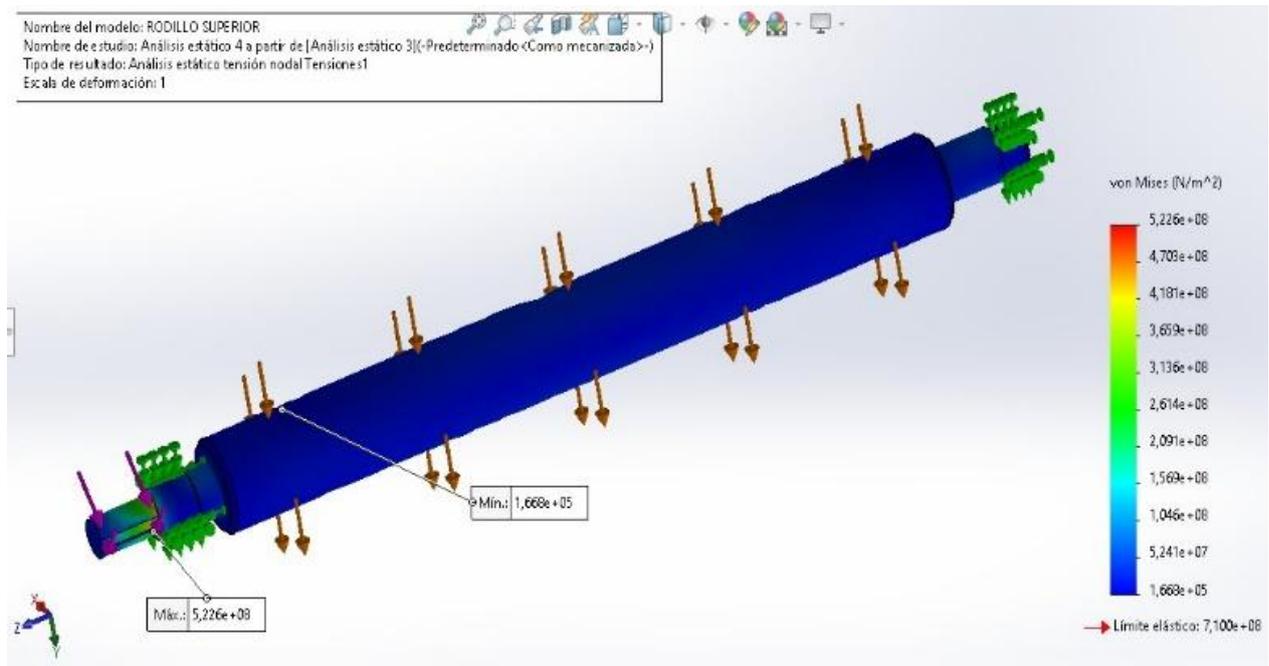
Nota. En esta tabla 6 se anota los resultados de toda la simulación del rodillo lateral.

Rodillo superior

El esfuerzo máximo de Von Mises arrojado mediante la simulación es $5.22 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia del material 4340, que es de $7.10 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, con este resultado obtenido se afirma que el rodillo no va fallar bajo este esfuerzo, también se pudo visualizar el desplazamiento máximo del eje de 0.404mm siendo en la parte central del rodillo donde se produce, la deformación que presenta el rodillo al estar sometido a esta carga es 0.002 mm la cual es bastante baja, por tanto la tarea de rolado no se va verá afectada, en cuanto al factor de seguridad tenemos en la parte que más riesgo presenta es la zona del chavetero, un valor de 1.359 este resultado en comparación con el calculado de 1.390 no tiene una diferencia significativa de tal manera que el rodillo tiene la confiabilidad para trabajar bajo las condiciones de cargas establecidas.

Figura 65

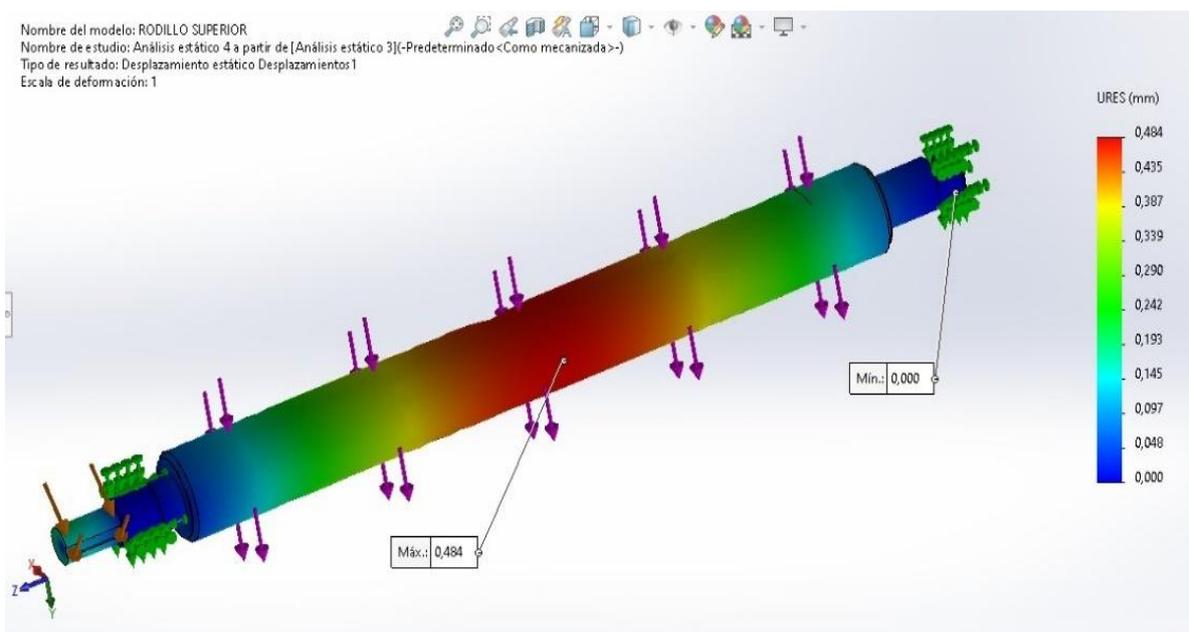
Esfuerzo de Von Mises



Nota. En la figura 65 se puede apreciar el esfuerzo máximo, valor que se encuentra en el cuñero, zona crítica que se analiza.

Figura 66

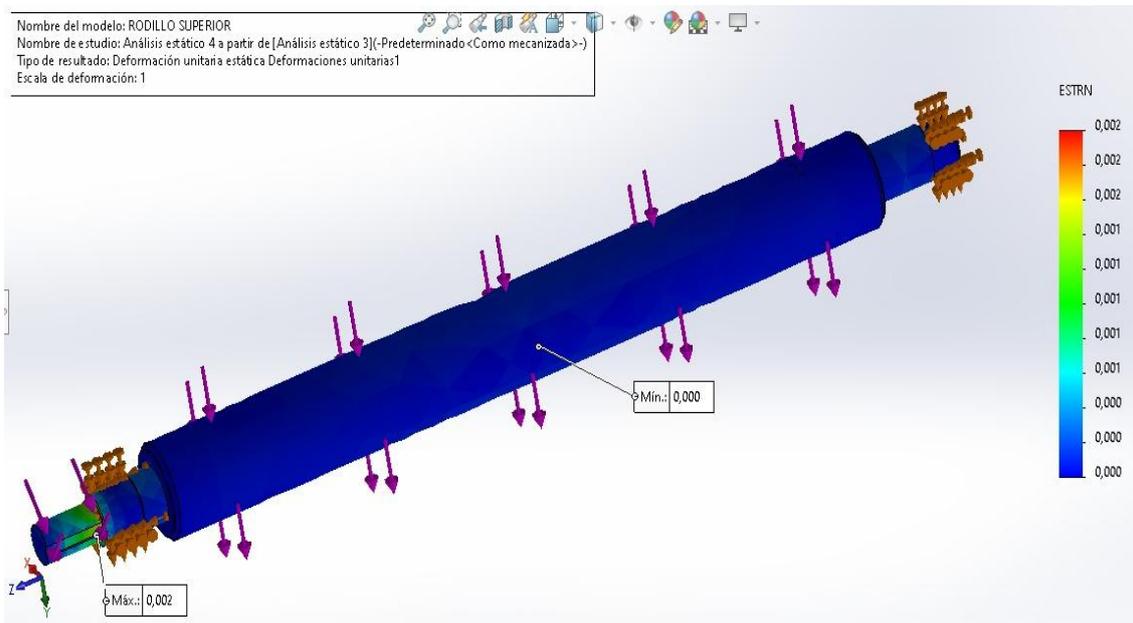
Desplazamiento del rodillo superior



Nota. En la figura 66 se puede visualizar el desplazamiento en mm que se produce en rodillo superior al someter a la carga de rolado.

Figura 67

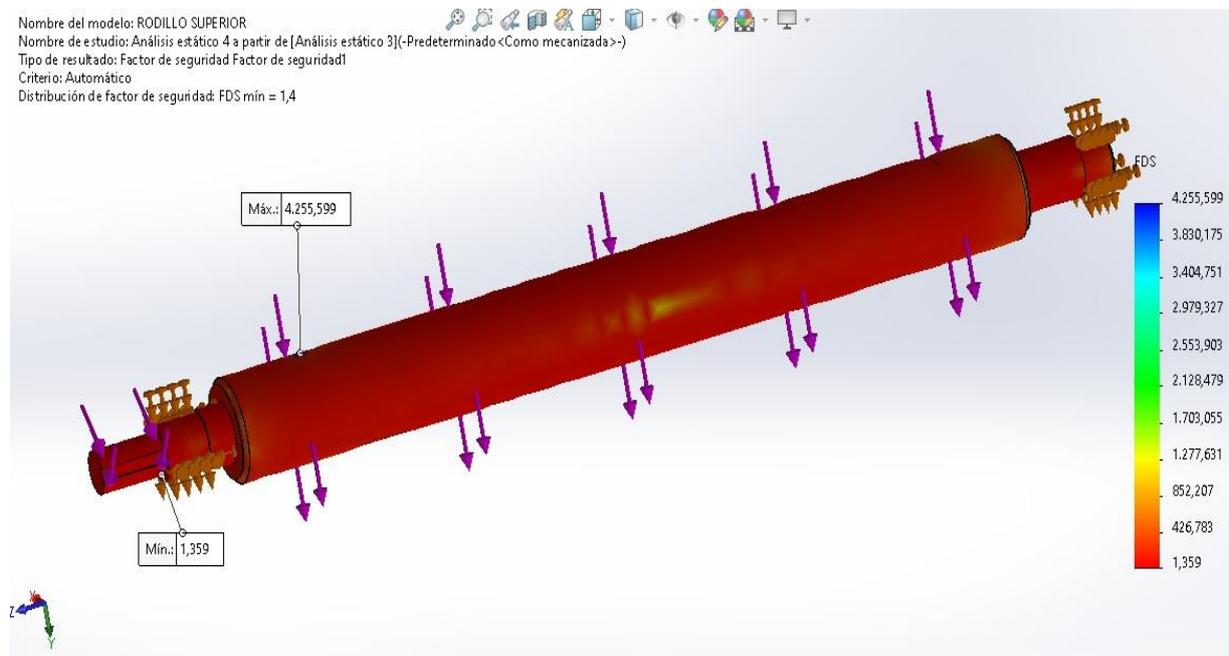
Deformación unitaria del rodillo superior



Nota. En la figura 67 se distingue que la deformación máxima se localiza en el cuñero al tener concentradores de esfuerzo.

Figura 68

Factor de seguridad rodillo superior



Nota. En la figura 68 se denota el factor de seguridad en la zona crítica, es el más bajo en el cuñero todo el rodillo.

Tabla 7*Resultados simulación rodillo superior*

Parámetro	Valor
Diámetro del rodillo	169mm
Material	4340
Carga	75152
Tensión de Von Mises	$5.228 \times 10^8 \text{N/m}^2$
Desplazamiento	0.484
Deformación	0.002
Factor de seguridad	1.4

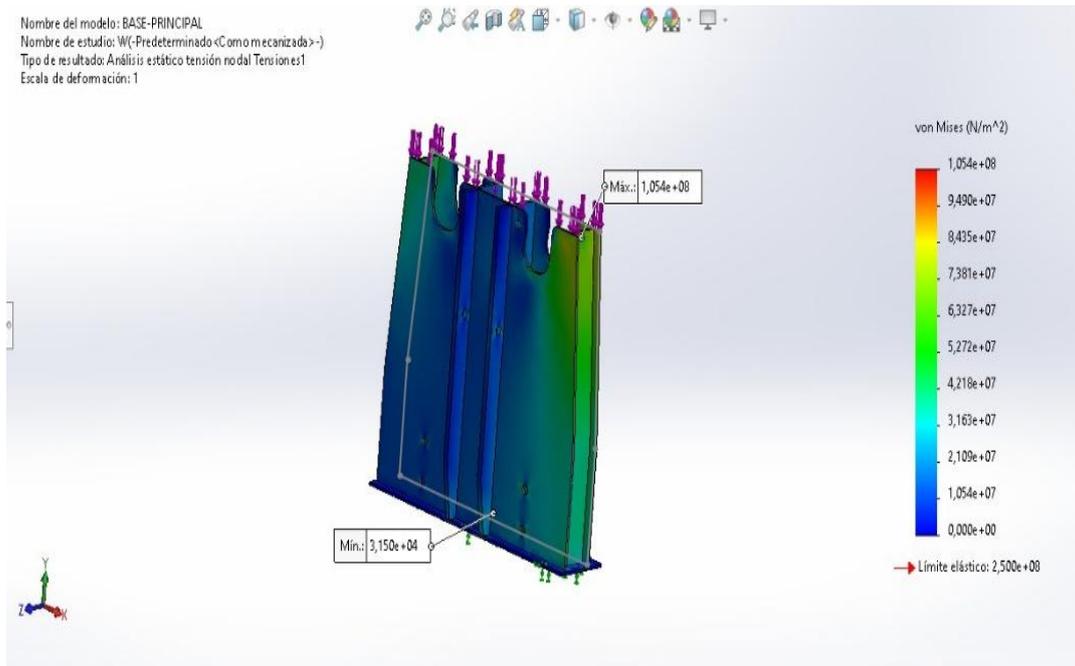
Nota. En la tabla 7 se anota los resultados de toda la simulación del rodillo superior.

Simulación de la estructura

La estructura presenta un esfuerzo máximo de Von Mises obtenido en la simulación de $1.054 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ cuando se somete a una carga de 90000N comprendido entre el peso de los rodillos y accesorios sumado la fuerza que genera en la operación de rolado, el desplazamiento de que presenta es de 0.226 mm con un factor de seguridad de 2.4 por lo tanto se determina que la estructura es segura para soportar a la carga que va estar sometida.

Figura 69

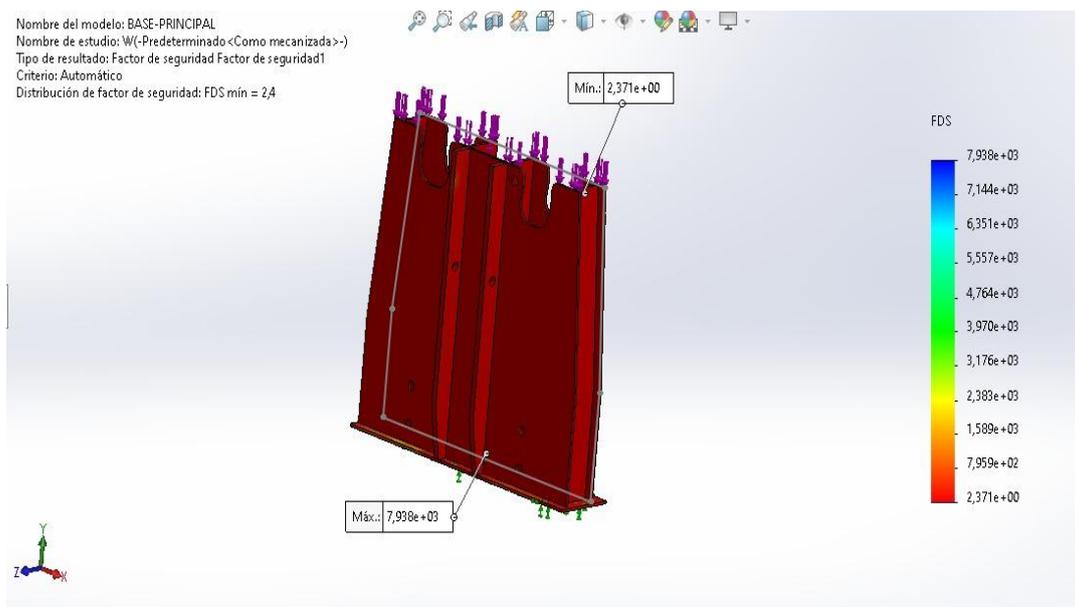
Esfuerzo de Von Mises de la estructura



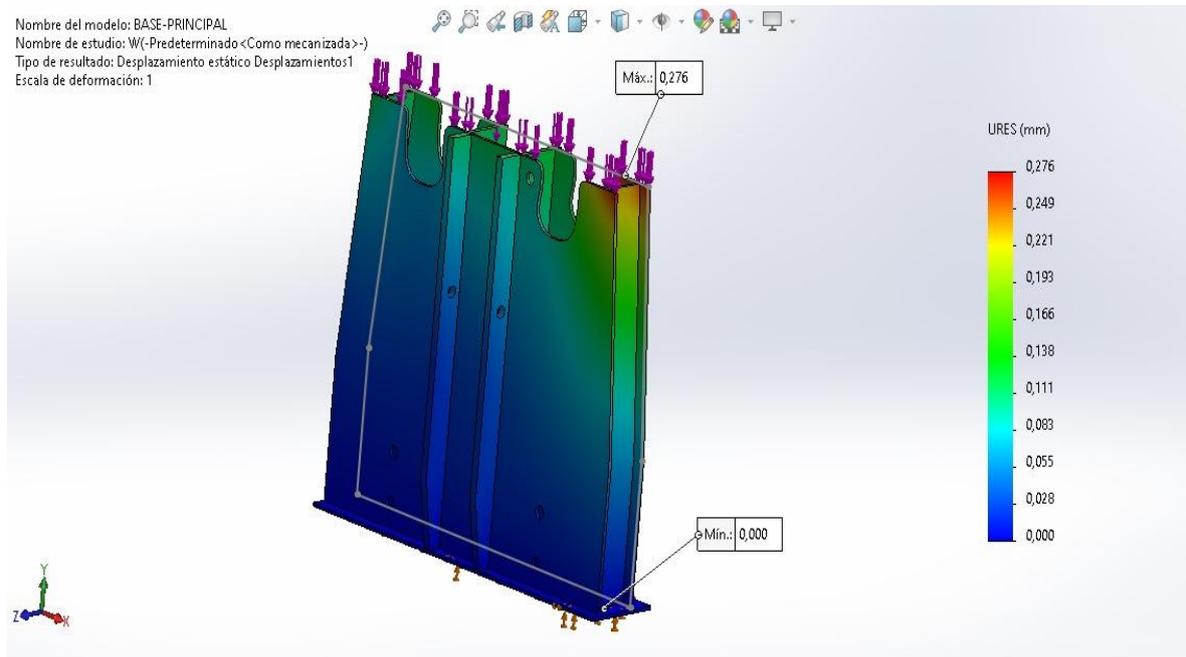
Nota. En la figura 69 se puede ver el esfuerzo máximo y mínimo al someter al peso de los rodillos y accesorios más la fuerza de rodado.

Figura 70

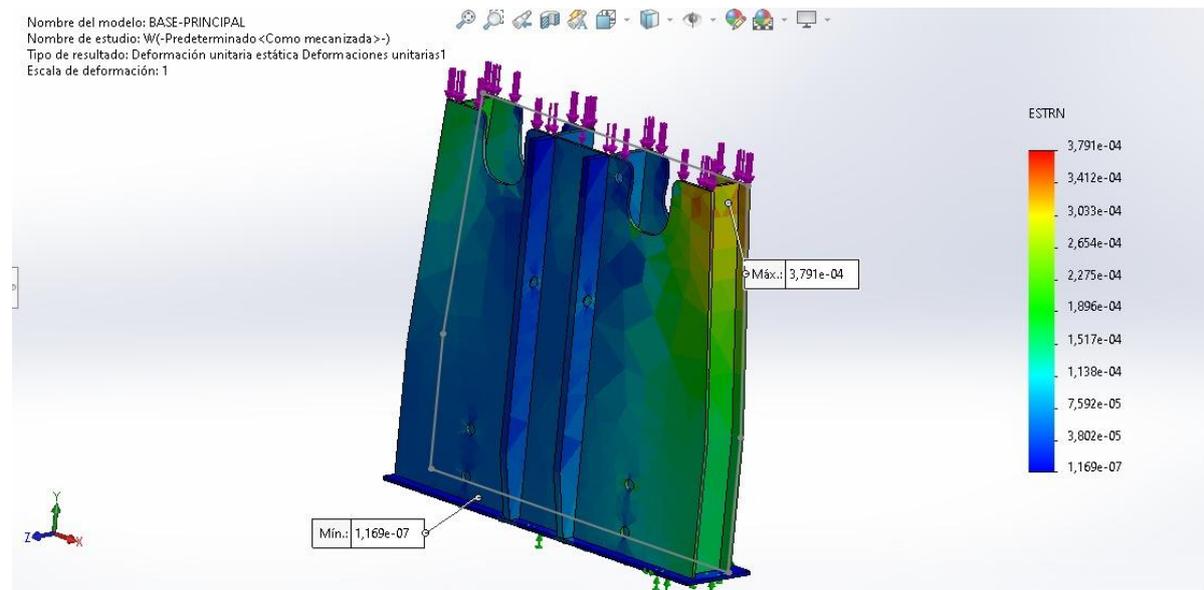
Factor de seguridad de la estructura



Nota. En la imagen 70 se observa el factor de seguridad de la estructura para poder determinar si la estructura es segura.

Figura 71**Desplazamiento de la estructura**

Nota. En esta figura 71 se muestra el desplazamiento de la estructura siendo la zona más crítica los bordes superiores.

Figura 72**Deformación unitaria de la estructura**

Nota. En la figura 72 se puede ver que tiene una deformación muy baja, considerando la estructura segura.

Tabla 8*Resultados simulación*

Parámetro	Valor
Material	ASTM A36
Carga	90000 N
Tensión de Von Mises	$1.054 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Desplazamiento	0.276 mm
Deformación	3.791×10^{-4}
Factor de seguridad	2.4

Nota. En la tabla 8 se visualiza los resultados de la simulación de la estructura.

Capítulo IV

Construcción y pruebas de la máquina roladora

Proceso de manufactura

Tabla 9

Proceso de manufactura roladora

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>Material ASTM A36 / ENS 235JR / EN10025/ ASTM A 572 GR 50 / ENS 355J2</p> <p>Perfil UPN 100x50x6</p>	<p>Corte Plasma Taladrado Soldadura MIG Esmerilado</p>	<p>En base al modelado 2d se fabricó la base considerando las dimensiones que tendrá la máquina en cuestión de largo, ancho y altura.</p> <p>Trazado de las dimensiones en los perfiles para realizar tareas de corte y esmerilado, para ubicar los perfiles y poder realizar puntos de suelda, una vez comprobado las dimensiones se procede a realizar la soldadura total en los puntos de unión.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>Material ASTM A36- SAE J 403 1008</p> <p>Placa laminada en caliente 250x1220x8</p>	<p>Corte Plasma</p> <p>Taladrado</p> <p>Soldadura MIG</p> <p>Esmerilado</p>	<p>Corte de las placas para el conformado de las bases laterales de la estructura de la máquina mediante soldadura.</p> <p>Taladrado de los agujeros que alojaran los pines de sujeción y maquinó las medias lunas para el recorrido de los rodillos laterales</p>
	<p>Acero bonificado + lam. Caliente 705/AISI 4340 (barra redonda)</p>	<p>Corte</p> <p>Soldado</p> <p>Fresado</p> <p>Torneado</p>	<p>Maquinado de las puntas de eje a medida de los bocines y rodamientos, así también se mecanizó los accesorios como chaveteros, chavetas y brida.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>Material ASTM A36- SAE J 403 1008</p> <p>Buje A23320543204— Bushin, Bushing—E5432 /ma9aa</p>	<p>Torneado</p> <p>Soldadura MIG</p> <p>Corte</p> <p>Esmerilado</p> <p>Prensando</p>	<p>Elaboración de las bases que alojaran bocines y rodamientos que sirven de apoyo para los rodillos. Mediante una prensa se insertó los rodamientos y bocines de bronce. Colocación de graseros para la lubricación.</p>
	<p>Material ASTM A36- SAE J 403 1008</p> <p>Placa laminada en caliente 250x1220x8</p>	<p>Torneado</p> <p>Soldadura MIG</p> <p>Corte</p> <p>Esmerilado</p> <p>Prensando</p>	<p>Manufactura de base lateral de apoyo del rodillo superior.</p>
	<p>Acero estructural SAE J 403 1008</p> <p>Tubo cuadrado 40x40x3</p>	<p>Corte</p> <p>Soldadura</p> <p>Esmerilado</p>	<p>Fabricación de vigas verticales y horizontales que sirven de apoyo a la vez están ancladas al bastidor de la máquina mediante el proceso de soldadura y se encuentran sujetas mediante pernos.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>Acero estructural SAE J 403 1008 Tubo cuadrado 40x40x3</p>	<p>Corte Soldadura Esmerilado Taladrado</p>	<p>Construcción de dos templadores longitudinales que sujetan las dos bases laterales mediante pernos y soldaduras.</p>
		<p>Ensamble</p>	<p>Culminado la fabricación de cada uno de los elementos estructurales de la máquina roladora se ensambla mediante uniones no permanentes (pernos y pines). Obteniendo así una estructura rígida y segura.</p>
	<p>Material ASTM A36- SAE J 403 1008 Placa laminada en caliente 250x1220x3</p>	<p>Corte Soldadura Esmerilado Taladrado</p>	<p>Dimensionamiento, corte de las placas y unión mediante soldadura para fabricar el depósito de aceite del sistema hidráulico. Taladrado de tapa de depósito para la implementación del motor y accesorios oleo hidráulicos.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>Motor monofásico 4 polos 5hp 220V 1800 RPM Bomba 2,8 GPM HYDROSILAC 1800RPM 3000PPSI</p>	<p>Taladrado</p>	<p>Ubicación del motor al tanque hidráulico mediante pernos, y unión matrimonio a la bomba-motor.</p>
	<p>FILTRO DE SUCCIÓN 10 GPM, ROSCA 1/2 ", FILTRACIÓN 100, HN H FILTRO DE RETORNO 10 GPM, 125 MICRAS, ROJO, HYDROLINE</p>	<p>Ensamble</p>	<p>Colocación de cañerías en el interior del depósito para ubicar el filtra de succión y en la exterior se ubica el filtro de retorno el cual está sujeta por uniones roscables.</p>
	<p>VALVULA DE ALIVIO 1/2,70 LPM RANGO 1000PSI-4351.13 PSI HN H MANOMETRO CON GLICERINA DE 5000 PSI, CARATULA DE 2 1/2, ENT.</p>	<p>Ensamble</p>	<p>Se instalan la válvula reguladora de presión que se encuentran entre la bomba y las electroválvulas, para posterior ubicación del manómetro para visualizar la presión que trabaja el sistema.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>SUBPLACA CETOP 3 TOMAS LATERALES DE 3/8 NPT. ELECTROVALV ULA CETOP 3, CENTRO TANDEM, 110V, HN HYDRAULICS</p>	Ensamble	<p>Una vez completado el grupo generador de presión, se instala el sistema de mando que está conformado por las placas, electroválvulas y adaptadores roscables para armar el riel donde van ubicadas las válvulas.</p>
	<p>MANGUERAS SAE-100R2 AT 3/8</p>	Ensamble	<p>Se instalan mangueras de alta presión SAE 100R2 AT para todos los actuadores del sistema cilindros, motor y electroválvulas.</p>
	<p>CILINDRO WWCL3004-S 3x4x1.5 CILINDRO WWCL3010 3x10x1.5</p>	Ensamble	<p>Se lleva a cabo la colocación de los cilindros hidráulicos mediante pines acoplados a las bases laterales, e instalación de adaptadores roscables con su respectiva cañería.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	<p>MCR5F820F185 Z32B2M42F2/S0 435F Serie: MCR5-F Aceite hidráulico ISO 68 8 GALONES</p>	Ensamble	<p>Acople de motor hidráulico al rodillo mediante una brida, también la conexión de 4 conductos, 3 a las electroválvulas y una de retorno al depósito. Llenado del depósito con fluido para el accionamiento de los actuadores hidráulicos</p>
	<p>PULSADOR PLASTICO 22MM VERDE ARO DE EMERGENCIA C/RETENCION ULSADOR 22MM PLASTICO DOBLE ON-OFF C/LUZ</p>	Colocación	<p>Dimensionamiento del tablero de control para la colocación de todos botones para el accionamiento de la unidad de potencia, electroválvulas y el paro de emergencia.</p>
	<p>CABLE GEMELO #16 CABLEC</p>	Dimensionamiento	<p>Conexión de los conductores desde el tablero hacia las electroválvulas, y hacia la alineación del motor eléctrico.</p>

Pieza	Características del material	Procesos de fabricación	Descripción del proceso de fabricación
	LUZ PILOTO LED VERDE 22MM 12-450V LUZ PILOTO LED ROJO 22MM 12-450V	Verificación	Prueba del cada botón pulsador con su respectiva luz piloto para el correcto funcionamiento del sistema de mando electrohidráulico.
	Fondo anticorrosivo automotriz color blanco 1 galón	Pintado	Integración de todos los subsistemas como: estructura, unidad de potencia y el control eléctrico. Proteger con pintura anticorrosiva la estructura de la máquina para alargar la vida de funcionamiento y evitar corrosión.

Nota. en la tabla 9 se tiene todo el proceso de fabricación de la máquina roladora.

Pruebas

Con el fin de poder evaluar la capacidad de la máquina roladora se realiza un protocolo de pruebas que consiste en realizar pruebas de cilindrado en muestras de acero con diferente espesor con la meta de llegar a los 6mm como parámetro ideal, a continuación, se describe cada una de las pruebas para evaluar dos aspectos como son el diámetro mínimo que se puede conseguir, también el espesor de lámina como máximo.

Tabla 10*Parámetros considerados para las pruebas*

Parámetro	Valor
Presión de trabajo en el circuito hidráulico	2500 psi
Voltaje de accionamiento motor eléctrico	220 V
Voltaje de accionamiento de electroválvulas	110 V
Revoluciones de rolado	7 rpm
Material de la lámina de acero	ASTM A36

Nota. En esta tabla 10 se conocen todos los parámetros fijos para probar materiales de diferente espesor de lámina.

Prueba 1

En esta prueba se utiliza una lámina de acero de con las siguientes dimensiones

Tabla 11*Dimensiones de la muestra de lámina*

Parámetro	Valor
Largo	600mm
Ancho	300 mm
Espesor	3 mm

Nota. En la tabla 11 se muestra las dimensiones de lámina para la prueba con un espesor de 3mm.

Tabla 12*Resultado de la prueba 1*

Aporte de material	Diámetro	Espesor	N° de pasadas
			1
Muestra de lámina A36	Diámetro alcanzado 187 mm	Espesor 3mm	

Nota: En la tabla 12 se muestra los resultados del diámetro y espesor.

Prueba 2

En esta prueba se utiliza una lámina de acero de con las siguientes dimensiones

Tabla 13*Dimensiones de la muestra de la lámina*

Parámetro	Valor
Largo	600mm
Ancho	300 mm
Espesor	6 mm

Nota. En la tabla 13 se muestra las dimensiones de lámina para la prueba con un espesor de 6mm.

Tabla 14*Resultado de la prueba 2*

Aporte de material	Diámetro	Espesor	N° de pasadas
			3
Muestra de lámina A36	Diámetro alcanzado 187 mm	Espesor 6mm	

Nota. En la tabla 14 se muestra los resultados del diámetro y espesor.

Prueba 3

En esta prueba se utiliza una lámina de acero de con las siguientes dimensiones

Tabla 15*Dimensiones de la muestra de la lámina*

Parámetro	Valor
Largo	600mm
Ancho	300 mm
Espesor	8 mm

Nota: En la tabla 15 se muestra las dimensiones de lámina para la prueba con un espesor de 8mm.

Tabla 16*Resultado prueba 3*

Aporte de material	Diámetro	Espesor	N° de pasadas
			5
Muestra de lámina A36	Diámetro alcanzado 187 mm	Espesor 8mm	

Nota. En la tabla 16 se muestra los resultados del diámetro y espesor.

Prueba 4

Para esta prueba se va considerar que en caso que se quiera realizar tanques cuadrados o rectangulares con bordes redondeados también se lo puede efectuar.

En esta prueba se utiliza una lámina de acero de con las siguientes dimensiones

Tabla 17*Dimensiones de la muestra de la lámina*

Parámetro	Valor
Largo	800mm
Ancho	300 mm
Espesor	6mm

Nota. En la tabla 17 se muestra las dimensiones de lámina para la prueba con un espesor de 6 mm.

Tabla 18*Resultado prueba 4*

Aporte de material	Radio	Espesor
		
Muestra de lámina A36	Radio alcanzado 100 mm	Espesor 6mm

Nota. En la tabla 18 se muestra los resultados del diámetro y espesor.

Análisis de resultados

Realizadas las tres primeras pruebas con muestras de láminas de acero ASTM A36 en dimensiones iguales y espesores diferentes con el fin comprobar la capacidad de rolado de la máquina establecida en 6 mm se realiza tres pruebas una por debajo del espesor y otra por encima del espesor establecido como se muestra en la tabla 19, obteniendo los resultados de diámetros iguales de 187 mm.

El diámetro mínimo obtenido se encuentra dentro de las medidas para fabricar depósitos de aire comprimido de diferentes dimensiones.

Se establece el número de pasadas de cuerdo al espesor de 3 mm se necesita 1 pasada, para el espesor de 6 mm se requiere 3 pasadas y para el espesor de 8 mm se establece 5 pasadas.

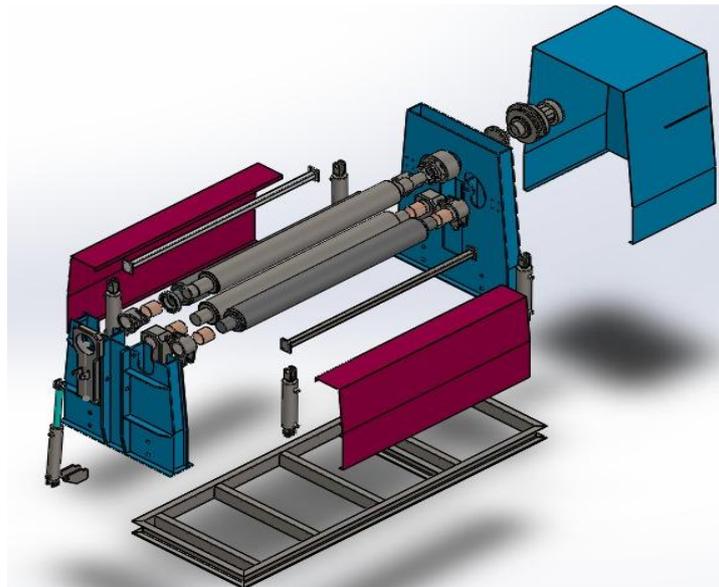
En la prueba cuatro se determina que también se puede fabricar tanques cuadrados con bordes redondos para diferentes aplicaciones.

Tabla 19*Análisis de resultados*

Número de prueba	Diámetro alcanzado (mm)	Espesor (mm)
1	187	3
2	187	6
3	187	8
4	Radio = 100 mm	6

Nota. En la tabla 19 se tiene el análisis de resultados de la máquina.

Mantenimiento

Figura 73*Máquina roladora de 4 rodillos*

Nota. En la figura 73 se observa la arquitectura de la máquina roladora de 4 rodillos.

Para la poder incrementar la vida de la roladora hay que tener ciertos cuidados en el manejo para no tener daños ni accidentes, por eso se provee de un manual de mantenimiento para fallas generales y cuidados que se deben realizar para la información completa verifique el Anexo 11 donde se detalla el funcionamiento de la máquina que precauciones tomar en caso de fallo y a quien acudir para un mantenimiento correctivo o de reparación.

Capítulo V

Marco administrativo

Recursos

Los medios para el desarrollo de la investigación fueron: recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Recursos humanos

Tabla 20

Recursos humanos

Orden	Descripción	Cantidad	Función
1.	Marco Vinicio Chuquitarco Taco	1	Investigador
2.	Ismael Alexander Vargas Cañar	1	Investigador
3.	Ing. Guillermo Mauricio Cruz Arcos	1	Colaborador Científico

Nota. En la tabla 20 se describen las personas involucradas en la investigación.

Recursos materiales

Tabla 21

Recursos materiales

Estructura

Estructura			
Descripción	Cantidad	Precio	Precio
		U.	T.
Eje AISI 4340 (705) Longitud L=7000 mm	2	800	1600
Eje AISI 4340 Diámetro 130mm L=500mm	1	70	70
Eje AISI 4340 Diámetro 250mm L=100mm	1	96	96
Eje AISI 4340 Diámetro 160mm L=160mm	1	55	55
Eje AISI 4340 Diámetro 25.4mm L=2000mm	1	50	50
Tubo cuadrado (40x40x3 mm)	2	20	40

Descripción	Cantidad	Precio	Precio
		U.	T.
Viga UPN (100x50x6 mm)	2	88,24	176,48
Plancha de 8mm (1220mmx2440mm)	3	228,59	685,77
Plancha de 2 mm (1220mmx2440mm)	2	48,26	96,52
Plancha de 3mm (1220mmx2440mm)	1	72,39	72,39
Cañería de Acero Negro; Calidad ISO – 65	5	13,5	67,5
Total			3009,66

Nota. En la tabla 21 se describe el presupuesto de materiales para la fabricación de la estructura, del proyecto de investigación.

Tabla 22

Circuito hidráulico

Descripción	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Electroválvula cetop 3, centro tandem, 110v, hn hydraulics	6	116.1	696.6
Subplaca cetop 3 tomas laterales de 3/8 npt	6	25.16	150.96
Manómetro con glicerina de 5000 psi, caratula de 2 1/2, ent	1	17.06	17.06
Visor de nivel de aceite 127mm, hydroas	1	9.9	9.9
Bomba hidráulica de engranajes aluminio 2,8 gpm a 1800 rpm,	1	143.96	14.39
Tapa de llenado con cernidero metálico con pernos	1	13.66	13.66
Acople tipo cruceta, bomba y motor (matrimonio - coupling 64). Cruceta universal tipo cardan.	1	52.84	52.84

Descripción	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Válvula hidráulica reguladora de caudal 1/2 4568 psi,	1	23.36	23.36
Válvula de alivio 1/2,70 lpm rango 1000psi-4351.13 psi	1	73.90	73.90
Filtro de succión 10 gpm, rosca 1/2 ", filtración 100	1	10.89	10.89
Motor hidráulico	1	1.500	1500
Cilindros hidráulicos	7	230	1610
Filtro de retorno 10 gpm, 125 micras, rojo, hydroline	1	13.88	13.88
Base de filtro pequeña	1	16.39	16.39
Mangueras Hidráulicas Osheng 3/8 4800 Psi	12	39	468
Válvula Check 3/8	2	13.20	26.40
Acoples hidráulicos (varios)	1	211.50	211.5
Depósito de Aceite	1	150	150
TOTAL			5189.3

Nota. En la tabla 22 se describe el presupuesto de materiales hidráulicos, del proyecto de investigación.

Tabla 23

Circuito eléctrico

Eléctrico			
Descripción	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Cable gemelo #16 cable	80	0,595238	43,81
Paro de emergencia c/retención	1	2,380954	2,19
Pulsador plástico 22mm verde.	12	1,535714	16,95

Pulsador plástico 22mm rojo.			
Descripción	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Pulsador 22mm plástico doble on-off c/luz	1	4,169643	3,84
Luz piloto led rojo 22mm 12-450v	6	1,142857	6,31
Luz piloto led verde 22mm 12-450v	6	1,142857	6,31
Terminal tipo u azul vf 2-4y 5/32"	1	4,017857	4,02
Breaker schneider riel dim 2 polos 10amp	1	8,531753	7,85
Motor eléctrico	1	500	500
Breaker schneider riel dim 2 polos 16amp	1	8,531753	7,85
Bobina ls para mc9/12/18/22 110vac	1	6,401786	5,89
Contactador ls s/bobina 18amp	1	13,194455	12,14
Terminal tipo u azul vf 2-4y 5/32"	16	0,053571	0,79
TOTAL			117,95

Nota. En la tabla 23 se describe el presupuesto de materiales eléctricos, del proyecto de investigación.

Tabla 24

Mano de obra

Mano de Obra			
Personal	Horas	Precio/Hora USD	Precio Total USD
Armador Estructural	50	8	400
Soldador	20	8	160
Tornero	20	50	1000
Electricista	16	5	80

Pintor	10	10	100
Personal	Horas	Precio/Hora USD	Precio Total USD
Total			1740

Nota. En la tabla 24 se describe el presupuesto de mano de obra para la construcción del proyecto de investigación.

Recursos tecnológicos

Tabla 25

Recursos tecnológicos

Orden	Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo
1.	Software de diseño	1	-	-
2.	Costos de internet	1		36
3.	Horas de diseño	80	11	880
TOTAL				\$916.00

Nota. En la tabla 25 se mencionan los recursos tecnológicos utilizados en la investigación.

Costo neto de la investigación

El costo empleado para el desarrollo de la investigación es de \$10972.85 \$ dólares americanos.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- En la investigación se identificaron las particularidades en cuanto a la geometría y diseño de la roladora de cuatro rodillos con sistema de accionamiento hidráulico, lo cual resulta crucial para definir los componentes estructurales, sistemas de accionamiento y control necesarios para llevar a cabo la operación de rolado de placas cilíndricas.
- El análisis matemático permite encontrar la fuerza necesaria para deformar la placa de acero cuyo valor calculado es 75152 N, la máquina tiene una fuerza empuje de 191205.59 N, lo que excede en 2.54 puntos con esto se garantiza llevar al estado plástico la paca de acero de 6 mm ASTM A36, con el propósito de conformar las partes cilíndricas de los depósitos de aire comprimido.
- El modelado en 2D Y 3D ayuda establecer las dimensiones de los componentes constituyentes de la máquina, así también permite visualizar y ubicar las diferentes partes como; estructura, componentes hidráulicos y eléctricos necesarios para la fabricación.
- La simulación de rodillos nos permite corroborar los factores de seguridad en las zonas más críticas a la cual se van a someter estos componentes, en el rodillo superior se tiene un valor de 1.39 y en el rodillo lateral un valor de 1.84 correspondientes a la parte analítica, por otra parte los resultados obtenidos en la simulación CAE, da un valor de 1.4 y 1.7 respectivamente, de esta manera se afirma que el diseño de la máquina es fiable, además los factores de seguridad no difieren mucho de los obtenidos en el análisis matemático.
- Mediante el software CAE y por simulación de MEF (Método del Elemento Finito) establece que el factor de seguridad en la parte estructural tiene un valor de 2.4,

bajo una carga de 90000 N constituidas por la suma del peso de los rodillos y fuerza de roldado, por lo que se determina que la estructura es segura.

- La selección de componentes hidráulicos se efectúa tomando en cuenta la presión nominal de los componentes de 3000 psi, y mediante cálculo de caudal de 10.66 l/min, se selecciona la bomba conjuntamente con catálogos y la opción más cercana en características técnicas, se estable una bomba de engranajes 2APF06 con una presión de 3000 psi y un caudal 10.78 l/min, lo cual brinda el caudal necesario para el circuito hidráulico.
- La realización de pruebas de rolado en la máquina construida se toma en cuenta tres muestras de lámina de acero en diferentes espesores para poder comprobar la capacidad de conformado de la máquina, se obtiene un diámetro mínimo de 187 mm en espesores de 3, 6 y 8 mm bajo una presión de trabajo de 2500 psi, con lo que se determina que para el espesor de 3 mm se necesita 1 pasada, para el espesor de 6 mm se requiere 3 pasadas y para el espesor de 8 mm se establece 5 pasadas.
- Se determinó los costos de fabricación de la máquina roladora de cuatro rodillos para espesores de hasta 6 mm con un valor de \$10972.85 dólares americanos, costo que se encuentra por debajo de una máquina importada de las mismas características cuyo valor es \$18000.00 dólares americanos, dando un ahorro del 39 %.
- El manual de mantenimiento tiene el funcionamiento básico de la máquina, se detalla las medidas de seguridad, así como el cuidado que debe tener con los elementos para incrementar la vida de la roladora (Anexo 11).

Recomendaciones

- Es necesario adquirir conocimientos acerca de los componentes hidráulicos en términos de su interconexión y operación, así como contar con cierta comprensión de los sistemas eléctricos de corriente alterna a 110V y 220V que son requeridos para la unidad de potencia y el panel de control eléctrico.
- Se sugiere la posibilidad de efectuar actualizaciones en el sistema de control de la máquina, con la finalidad de lograr una automatización del proceso y así poder manufacturar en serie piezas con forma cilíndrica.
- Se recomienda verificar la disponibilidad de los componentes hidráulicos con el fin de evitar contratiempos en la fabricación y optimizar los tiempos en la manufactura de este tipo de prototipos.
- Es aconsejable considerar la utilización de software de simulación con el fin de comprobar el proceso de conformado de placas de acero en elementos de forma cilíndrica.
- Si se desea laminar con láminas de más de 6 mm de grosor, es imprescindible aumentar la presión operativa hasta casi alcanzar el nivel máximo. Esto se hace con el propósito de incrementar la potencia del motor hidráulico conectado al cilindro de tracción.
- Si surge una avería o fallo, consulte el manual de mantenimiento suministrado por el proyecto de investigación para resolver estos problemas. Alternativamente, comuníquese con el fabricante de la máquina si es necesario.

Bibliografía

Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. McGRAW-

HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

<https://doi.org/file:///C:/Users/PC/Desktop/Roladoras/Dise%C3%B1o%20de%20elementos%20de%20M%C3%A0quinas.pdf>

Admin, R. (21 de Julio de 2021). *¿Qué es un motor hidráulico?* Hidraulica Blog de Sistemas

Hidraulicos: <https://hidraulica.club/sistemas/que-es-un-motor-hidraulico/>

Aideepen ELEC&Lifes. (12 de Diciembre de 2022). *Voltímetros digitales [Gráfico]*.

Aliexpress Store: <https://es.aliexpress.com/item/32968097355.html>

Anonymous. (30 de junio de 2016). *Curva de Esfuerzo vs Deformación*. PROCESO DE

FABRICACIÓN POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA:

<http://procesodefabricacion1.blogspot.com/2016/01/proceso-de-fabricacion-por-deformacion.html>

Arango, G. (11 de mayo de 2011). *Roladoras de chapa en frío*. Maquinaria:

file:///C:/Users/PC/Desktop/Roladoras/scribdfree.com_roladoras.pdf

Areatecnología. (17 de Enero de 2023). *Fuente de alimentación*. Areatecnología:

<https://www.areatecnologia.com/electronica/fuente-alimentacion.html>

Bearcat. (7 de Octubre de 2020). *CLASES DE UNIONES MECÁNICAS*. BEARCAT S.A.:

<https://bearcat.es/blog/2020/10/07/clases-de-uniones-mecanicas/>

Cia. General de Aceros. (22 de Mayo de 2020). *Lamina A36*. Aceros Especiales Para

Aplicaciones Industriales: [https://www.cga.com.co/wp-](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf)

[content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf)

Cia. General de Aceros. (22 de mayo de 2020). *Lámina A36*. Aceros Especiales Para

Aplicaciones Industriales: [https://www.cga.com.co/wp-](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf)

[content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf)

COBRESOLD. (2021). *PLANCHAS DE ALUMINIO LISO*. PLANCHAS DE ALUMINIO LISO:

<https://cobresold.cl/producto/planchas-de-aluminio-liso/>

CORPORACION AYALA SAC. (30 de noviembre de 2017). *Servicio de rolado [fotografía]*.

corporacionayalasac: <https://corporacionayalasac.com/category/servicios/>

DAVI. (enero de 2014). *LA TECNOLOGIA MÁS AVANZADA SÓLIDA Y COMPACTA para la mejor productividad*. davi.com:

https://www.davi.com/media/files/143_83_mcb_2014_sp_mm.pdf

Dobladora Carvajal. (2019). *Rolado detuberia*. dobladora carvajal:

<https://www.dobladoracarvajal.com/rolado-de-tuberia/>

ELECTROCABLES. (2018). *www.electrocable.com*. Conductor de cobre flexible para 300 V o 600 V aislado con policloruro de vinilo (PVC), resistente al calor elevado.:

<https://www.electrocable.com/uploads/catficha/cata-logo-electrocables-2018.pdf>

ENGINEERINGLEARN. (2022). *Clasificación de la máquina laminadora de placas*.

ENGINEERINGLEARN: https://engineeringlearn.com/plate-rolling-machine-definition-types-parts-working-principle-advantages-complete-details/#google_vignette

ENGINEERINGLEARN. (2022). *Clasificación de la máquina laminadora de placas*.

ENGINEERINGLEARN: https://engineeringlearn.com/plate-rolling-machine-definition-types-parts-working-principle-advantages-complete-details/#google_vignette

ENGINEERINGLEARN. (2022). *Clasificación de la máquina laminadora de placas*.

Engineering Learn: https://engineeringlearn.com/plate-rolling-machine-definition-types-parts-working-principle-advantages-complete-details/#google_vignette

ESTRUCTURAS DE CARGA. (10 de octubre de 2017). *CONDUCTORES O CABLES ELÉCTRICOS*. ESTRUCTURAS DE CARGA ELECTRICA 9.0:

<https://estructurasdecargaelectricas.blogspot.com/2017/10/conductores-o-cables-electricos.html>

FABIAN, T. (enero de 2020). <http://dspace.istvidanueva.edu.ec>.

<http://dspace.istvidanueva.edu.ec>:

<http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/100/1/42.0400-TIGASI-GUAMANI-LUIS-FABIAN.pdf>

FACCIN S.P.A. (5 de julio de 2022). <https://www.faccin.com/>. <https://www.faccin.com/>:
<https://www.faccin.com/es/contacto/>

FEYSAMA. (2019). *Curvadoras de cilindros hidraulicas [fotografia]*. feysama:
<https://www.feysama.com/maquinaria-industrial/cilindradoras-hidraulica/>

Gabriel. (4 de mayo de 2012). *ELEMENTOS DE MÁQUINAS Y SISTEMAS. ELECTRICIDAD*. (Microsoft Word - Apuntes_Elementos M\341quinas y Sistemas_Circuitos):
https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2012/05/apuntes_elementos-mc3a1quinas-y-sistemas_circuitos.pdf

GAMARRA, E. (2016). DISEÑO DE UNA MAQUINA ROLADORA HIDRAULICA CON CUATRO RODILLOS PARA PLANCHAS DE HASTA 20mm DE ESPESOR Y RADIO MAXIMO DE 250mm PARA LA EMPRESA METAL SUR E.I.R.L. *Configuracion de cuatro rodillos*. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.

GARCÍA, J. (24 de Junio de 2021). *Todo lo que debes saber sobre los tipos de soldadura*. OASA: <https://oasatijuana.com/blogs/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-los-tipos-de-soldadura#:~:text=La%20soldadura%20es%20el%20proceso,en%20una%20uni%C3%B3n%20muy%20fuerte.>

GRUMACOL. (21 de Septiembre de 2021). *Mangueras hidráulicas para grúas*.
<https://grumacol.com/mangueras-hidraulicas-para-gruas/>

GSANROD017. (17 de Abril de 2020). *SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*. SOLDADURA ELECTRICA:
<https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/conectandoima/2020/01/31/soldadura-electrica/>

Hangzhou Junce Instruments Co., Ltd. (17 de Diciembre de 2021). *DC Voltage and Current meter [Gráfico]*. junteks: <http://www.junteks.com/>

HARSLE. (15 de mayo de 2022). Laminadora de cuatro rodillos:

<https://www.harsle.com/Four-roller-Rolling-Machine-id3230554.html>

Hendershot, J., & Miller, T. (2010). *DESIGN OD BRUSHLESS PERMANENT MAGNET*

MACHINES. Florida: Bookmasters, Inc.

HIDRONEUMATIC. (2013). *hidroneumatic.com.ec/*. BOMBA DE ENGRANAJES 2APF 06:

<https://hidroneumatic.com.ec/producto/bomba-de-engranajes-2apf-06/>

HYDROMECHANICA DEL ECUADOR . (15 de Junio de 2016). *hydromecanica.com*.

WOLVERINE BY PRICE MANUFACTURING:

<https://www.hydromecanica.com/images/pdf/6.CILINDROS/MANUALES/WOLDERIN E-HYDRAULICS-CYLINDERS.pdf>

IMATESA . (2023). *Imatesa.cl*. Motor Imatesa Monofásico 0.5 HP A 5 HP:

https://imatesa.cl/nuestros-productos/66-329-motor-imatesa-monofasico-05-hp-a-5-hp.html#/38-potencia_hp-3/95-polos-4

IMPOFREICO S.A. (s.f.). *Medios electrónicos* . Mangueras:

<https://www.impofreico.com/mangueras>

Jose, R. (28 de Diciembre de 2017). *Cómo funciona una bomba hidráulica*. Cómo funciona :

<https://como-funciona.co/una-bomba-hidraulica/>

Kappatou, J., Zalokostas, G., & Spyratos, D. (2016). Design Optimization of Axial Flux

Permanent Magnet (AFPM) Synchronous Machine Using 3D FEM Analysis. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 8, 257.

Labrador, B. (6 de Junio de 2019). *SIMBOLO DE SOLDADURA - PARTE II*. stargas:

<https://www.stargas.com.ve/blog/simbolo-de-soldadura-parte-ii/>

Mandi Control S.L. (12 de Julio de 2021). *Los Sistemas Hidráulicos*. Componentes de los

Sistemas Hidráulicos: Beneficios y ventajas de contar con un sistema hidráulico:

<https://www.madicontrol.com/componentes-sistemas-hidraulicos/>

Mandi Control S.L. (12 de julio de 2021). *Los Sistemas Hidráulicos*. Componentes de los

Sistemas Hidráulicos: Beneficios y ventajas de contar con un sistema hidráulico:

<https://www.madicontrol.com/componentes-sistemas-hidraulicos/>

- Martos, J. A. (21 de Febrero de 2020). *Lubricación de equipos y procesos en la industria metalurgica*. [http://metalspain.com: http://metalspain.com/LUBRICACION.pdf](http://metalspain.com/LUBRICACION.pdf)
- Mejía, D. (agosto de 2011). *ESTUDIO DEL PROCESO DE ROLADO DE LÁMINAS METÁLICAS Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OPERACIÓN EN LA EMPRESA INOX-TEC EN LA CIUDAD DE LATACUNGA*. [redi.uta.edu.ec: https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/992/1/Tesis%20M.%20136%20-%20Mejia%20Ordo%c3%b1ez%20Danny%20Wilfrido.pdf](http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/992/1/Tesis%20M.%20136%20-%20Mejia%20Ordo%c3%b1ez%20Danny%20Wilfrido.pdf)
- N-A-XTRA XABO. (s.f.). [h: https://www.flinkenberg.fi/wp-content/uploads/PROCESSING-RECOMMENDATIONS-N-A-XTRA-XABO.pdf](https://www.flinkenberg.fi/wp-content/uploads/PROCESSING-RECOMMENDATIONS-N-A-XTRA-XABO.pdf)
- N-A-XTRA XABO. (2012). *www.flinkenberg.fi*. Forming: <https://www.flinkenberg.fi/wp-content/uploads/PROCESSING-RECOMMENDATIONS-N-A-XTRA-XABO.pdf>
- Paúl, A. J. (Diciembre de 2008). *Diseño y construcción de un sistema ergonómico semiautomático para el montaje de baterías en la línea de producción de autos*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1087/1/CD-1926.pdf>
- Pérez, J., & Gardey, A. (3 de junio de 2014). *DEFINICIÓN DE RODAMIENTO*. DEFINICIÓN DE RODAMIENTO: <https://definicion.de/rodamiento/>
- Qswaldo, R., & Julio, S. (1999). *Produccion automatizado sistemas CAD/CAE/CAM. TECNOLOGÍAS CAD/CAE/CAM*. UNMSM. Facultad de Ingeniería Industrial. https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm#:~:text=Es%20un%20sistema%20que%20permite,par%C3%A1metros%3B%20la%20generaci%C3%B3n%20de%20planos
- QuimiNet. (21 de julio de 2011). *quiminet.com*. [quiminet.com: https://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-proceso-de-rolado-2555669.htm](https://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-proceso-de-rolado-2555669.htm)
- Rashadul, I., Sylvester, K., & Jill, R. (s.f.). *A review of CAD to CAE integration with a hierarchical data format. A review of CAD to CAE integration with a hierarchical data format*. Revista de la Universidad King Saud - Ciencias de la Ingeniería. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1018363920302282?token=95FB1A53DA0B6F4431FCFCBB80159120B52C16B45AED284B033DCA212313CB3EFDCEBC04>

41B71C89A2FCE2C4BA58064D&originRegion=us-east-1&originCreation=20220829210811

RECOPECAS. (7 de abril de 2021). *VOCÊ SABE COMO FUNCIONA UM SISTEMA HIDRÁULICO?* RECOPECAS: <https://www.recopecas.com.br/voce-sabe-como-funciona-um-sistema-hidraulico/>

Rexroth bosch Group. (Febrero de 2017). <https://hydraulicsonline.com>. Radial piston motor for wheel drives: <https://hydraulicsonline.com/wp-content/uploads/2019/11/Bosch-Rexroth-MCR-F.pdf>

Romero, C. (19 de Marzo de 2015). *Proyección - Mecatrónica*. Válvulas de Presión Hidráulicas: <http://proyeccionmecatronica.blogspot.com/2015/03/valvulas-de-presion-hidraulicas.html>

Sarmiento, J. L. (3 de Mayo de 2021). www.youtube.co. Potencia Fluida: <https://www.youtube.com/watch?v=kum23hNNRpw>

SCHNEIDER. (2023). www.se.com. Push button, Harmony XB5, plastic, flush, green, 22mm, spring return, unmarked, 1NO: <https://www.se.com/us/en/product/XB5AA31/push-button-harmony-xb5-plastic-flush-green-22mm-spring-return-unmarked-1no/>

Shigley Richard G. Budynas, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
https://www.academia.edu/44547589/Dise%C3%B1o_en_ingenier%C3%ADa_mec%C3%A1nica_de_Shigley_Richard_G_Budynas_J_Keith_Nisbett_10a

SKF. (s.f.). www.skf.com. <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-593%2F592%20A>

TDZ. (s.f.). [Tdz.com](http://tdz.com). Electrovalvula Direccional: https://tdz.com/pdf/Directional%20&%20Control%20Valves%20NG6_ant.pdf

- Thyseekrupp Steel Europe. (septiembre de 2010). *www.flinkenberg.fi*. PROCESSING-RECOMMENDATIONS-: <https://www.flinkenberg.fi/wp-content/uploads/PROCESSING-RECOMMENDATIONS-N-A-XTRA-XABO.pdf>
- TRUPER. (19 de Diciembre de 2022). *Inversor de corriente de 750W, Truper*. Truper.com: https://www.truper.com/ficha_tecnica/Inversor-de-corriente-de-750-W-4.html
- Unknown. (12 de Febrero de 2015). *Tanques y depósitos*. Mecatronica Industrial: http://josemiron.blogspot.com/2015/02/v-behaviorurldefaultvmlo_59.html
- Vallejo, V. (20 de Octubre de 2017). *MANGUERAS HIDRÁULICAS: ¿QUÉ TIPOS EXISTEN?* Sumatec: <https://sumatec.co/mangueras-hidraulicas-que-tipos-existen/#:~:text=Las%20mangueras%20hidr%C3%A1ulicas%2C%20fabricadas%20en,a%20cabo%20un%20trabajo%20mec%C3%A1nico.>
- Volta Maquinaria Industrial. (2014). *Roladora de 3 rodillos asimétrica, FACCIN Modelo ASI*. Volta Maquinaria Industrial: <http://voltamaquinaria.com/>
- WEERG STAFF. (23 de Junio de 2022). *Características, propiedades y ventajas del aluminio*. Aluminio: características, propiedades y ventajas: <https://www.weerg.com/es/es/blog/aluminio-caracter%C3%ADsticas-propiedades-y-ventajas>
- WEG. (2020). *electricoindustrial.com.ec*. electricoindustrial.com.ec: <https://electricoindustrial.com.ec/catalogos/CatalogoWEG2020.pdf>

Anexos