

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	1
1.4. OBJETIVOS.....	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos específicos.....	2
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	2
1.6. METODOLOGÍA.....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 INTRODUCCIÓN.....	4
2.2 COMPORTAMIENTO ELÁSTO-PLÁSTICO.....	5
2.2.1 Leyes de endurecimiento	7
2.3 CONFORMADO EN LAMINACIÓN.....	8
2.3.1 Equipos de laminación	8
2.3.2 Clasificación de los trenes	10
2.3.3 Tipos de cajas	12
2.3.4 Laminadores de barras y perfiles.....	13
2.4 MICROESTRUCTURA.....	14
2.4.1 Deformación en cristales metálicos	16
2.5 VARIABLES EN LA LAMINACIÓN	17
2.5.1 Relación de volúmenes en unidad de tiempo	18
2.5.2 Espacio de laminación	18

2.5.3	Ángulo de laminación.....	19
2.5.4	Fuerza de laminación y torque.....	19
2.5.5	Esfuerzo de fluencia	21
2.5.6	Relación entre esfuerzos de fluencia medio y esfuerzo de laminación de planos 23	
2.5.7	Fricción durante el laminado	25
2.5.8	Temperatura en el laminado de metales	26
2.6	ALUMINIO Y ALEACIONES	27
2.6.1	Aleaciones de aluminio	27
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA		7
PROCEDIMIENTO DE LA SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....		28
3.1	FACTORES EQUIVALENTES actores equivalentes; Error! Marcador no definido.	
3.1.1	Espesor inicial equivalente	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2	Espesor final equivalente.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1.3	Ancho del material	¡Error! Marcador no definido.
3.1.4	Esfuerzo de fluencia medio	33
3.2	CÁLCULOS DE VARIABLES EN LA LAMINACIÓN	36
3.2.1	Valores equivalentes a los de laminación plana.	36
3.2.2	Cálculo de la fuerza de laminación y torque necesario.	36
3.3	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS EN LA TRANSMISIÓN	37
3.3.1	Engranés de los rodillos.....	37
3.3.2	Esfuerzo de flexión en los engranes	38
3.3.3	Esfuerzo de contacto.....	45
3.3.4	Acople en la transmisión.	50

3.3.5	Chaveta para acople en la transmisión.	52
3.3.6	Chaveta para los engranes	53
3.3.7	Puntos de apoyo para los rodillos	54
3.4	DISEÑO DEL LAMINADOR.	58
3.4.1	Soportes de rodillos	60
3.4.2	Soporte inferior.....	61
3.4.3	Soporte superior.....	63
3.4.4	Base del laminador	65
3.4.5	Elementos de sujeción	66
3.4.6	Soldadura crítica.....	69
3.4.7	Estructura soportante de perfiles	71
3.4.8	Sistema de protección.....	73
3.4.9	Dimensionamiento de los componentes eléctricos.....	75
3.5	PLANOS DE FABRICACIÓN	78
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS		33
4.1	Estimación del trabajo en frío.....	79
4.1.1	Análisis del trabajo en frío	81
4.2	VALIDACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.....	81
4.2.1	Análisis de resultados soporte inferior.	82
4.2.2	Análisis de resultados soporte superior	82
4.2.3	Análisis de resultados base del laminador	83
4.2.4	Análisis de resultados de la estructura metálica de perfiles	83
4.3	COMPONENTES Y MATERIAS PRIMAS DEL LAMINADOR	84
4.4	COSTOS.....	86
4.4.1	Análisis de los costos.....	86

CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS	88
ANEXO 1: RESULTADOS OBTENIDOS DE MANERA ITERATIVA	90
ANEXO 2: PLANOS DE FABRICACIÓN	98
ANEXO 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARGA.....	107
ANEXO 4: DETALLE DE LOS COSTOS	111
ANEXO 5: CATÁLOGOS DE FABRICACIÓN	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1 Procesos de conformado volumétrico. Fuente: Fundamento de la manufactura moderna. Groover y Mikell P	5
Ilustración 2.2 Curva de esfuerzo y deformación en tracción. Fuente: Fundamentos de la manufactura moderna.	6
Ilustración 2.3 Componentes principales del laminador. Fuente: Elaboración propia	8
Ilustración 2.4 Tren laminador. Fuente: Metalúrgica mecánica. Dieter y Geroge E.	9
Ilustración 2.5 Tipos de trenes industriales. Fuente: Laminación. Enriquez B., José L.	10
Ilustración 2.6 Cajas de uso industrial. Fuente: Metalúrgica mecánica. Dieter y Geroge E.	13
Ilustración 2.7 Cilindros para perfiles y canaletas. Fuente: Metalúrgica mecánica. Dieter y Geroge E.	14
Ilustración 2.8 Tipos de redes cristalinas. a) Red cristalina b) Red no cristalina. Fuente: Fundamentos de la manufactura moderna	15
Ilustración 2.9 Modelos de esferas. Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Sereope Schmid y Steven Kalpakijan	15
Ilustración 2.10 Tipos de deformaciones. Fuente: Mecánica de materiales. Russel C. Hibbler.	16
Ilustración 2.11 Factores principales de la laminación. Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Sereope Schmid y Steven Kalpakijan	17
Ilustración 3.1 Fotografía del estado actual de los rodillos. Fuente: elaboración propia	29
Ilustración 3.2 Diámetro inicial y final del material. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3.3 Vista frontal del material al pasar por el laminador. Fuente: elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3.4 Dimensiones de las chavetas. Fuente: Normas DIN 6885	52
Ilustración 3.5 Primer boceto del laminador. Fuente: elaboración propia.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3.7 Representación de los componentes principales del laminador. Fuente: elaboración propia	59
Ilustración 3.8 análisis de fuerzas de corte ocurridas en el rodillo y los puntos de apoyo realizado en Inventor. Fuente: Elaboración propia	60

Ilustración 3.9Diseño realizado en Inventor Autodesk. Fuente: Elaboración propia	61
Ilustración 3.11Fuerza y puntos de apoyo de la estructura realizada en ANSYS. Fuente: elaboración propia	63
Ilustración 3.12Modelo del soporte superior realizado en Autodesk Inventor. Fuente: Elaboración propia.....	63
Ilustración 3.13Fuerza y puntos de apoyo del soporte superior realizado en ANSYS. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 3.14Dibujo tridimensional de la base del laminador realizado en Autodesk Inventor. Fuente: elaboración propia.....	65
Ilustración 3.15Fuerza aplicada y superficie de soporte de la base del laminador en ANSYS. Fuente: Elaboración propia.....	66
Ilustración 3.16Imagen de la estructura metálica realizada en Autodesk Inventor. Fuente: Elaboración Propia	72
Ilustración 3.18Distribución de las cargas y puntos de apoyo en ANSYS. Fuente: elaboración propia	73
Ilustración 3.19Sistema de protección diseñado en Autodesk Inventor. Fuente: elaboración propia.....	74
Ilustración 3.20Sistema de protección B diseñado en Autodesk Inventor. Fuente: Elaboración propia	74
Ilustración 3.21Circuito de control creado en CADE SIMU. Fuente elaboración propia.....	75
Ilustración 3.22Esquema del circuito de fuerza creado en Cade Simu. Fuente elaboración propia.....	76
Ilustración 4.1Vista en detalle de las canaletas de los rodillos realizado en Autodesk Inventor. Fuente: elaboración propia	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Esfuerzo de fluencia promedio y deformación necesaria en canaleta de 10 mm. Fuente: Elaboración propia.....	35
Gráfico 3.2 Factor de espesor del aro. Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.....	42
Gráfico 3.3 Factor geométrico de resistencia a la tracción. Fuente: AGMA 218.01	43
Gráfico 3.4 Factor de ciclos de esfuerzo. Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04	44
Gráfico 3.5 Factor de ciclos de esfuerzo. Fuente: ANSI/AGMA 2001-DO4.....	50
Gráfico 3.6 Factor de carga para materiales de rodamientos de PTFE Y POM. Fuente: extraído el 20 de noviembre del 2020, www.SKF.com	56
Gráfico 3.7 Factor de velocidad para materiales de rodamientos de PTFE Y POM. Fuente: extraído el 20 de noviembre del 2020, www.SKF.com	57
Gráfico 3.8 Factor de temperatura para materiales de rodamientos de PTFE Y POM. Fuente: extraído el 20 de noviembre del 2020, www.SKF.com	57
Gráfico 3.9 Factor de rugosidad para materiales de rodamientos de PTFE Y POM. Fuente: extraído el 20 de noviembre del 2020, www.SKF.com	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tren laminador. Fuente: Metalúrgica mecánica	9
Tabla 2.2 Valores característicos a temperatura ambiente. Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Sereope Schmid y Steven Kalpakijan.....	22
Tabla 2.3 Coeficiente de roce en laminado en frío. Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Sereope Schmid y Steven Kalpakijan.....	25
Tabla 2.4 Aleaciones de aluminio. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla 2.5 Designación de los tratamientos térmicos. Fuente: Ingeniería, Consultoría y Formación, Ingemeccánica.....	28
Tabla 3.1. Propiedades del motor eléctrico. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 3.2 Constantes característicos de aluminios a temperatura ambiente. Fuente: extraído el 20 de noviembre del 2020, www.matweb.com).....	33
Tabla 3.3 Resultados obtenidos de la caracterización del material. Fuente: elaboración propia	36
Tabla 3.4 Dimensiones tentativas. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 3.5 Propiedades mecánicas del acero AISI 4340. Fuente: Información recuperado el 20 de octubre del 2020, http://www.matweb.com/	38
Tabla 3.6 Tabla de factores de sobrecarga. Fuente: ANSIS/AGMA 2001-DO4 y 2101-D04 ..	39
Tabla 3.7 Constantes empíricas A, B y C. Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.....	41
Tabla 3.8 Factores de confiabilidad. Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.....	45
Tabla 3.9 Coeficiente elástico. Fuente: AGMA 218.01	47
Tabla 3.10 Factores de seguridad. Fuente: extraído el 10 de noviembre del 2020, https://www.vulkan.com/es-es/drivetech/Documents/Rigid-Couplings-Technical-Data-ES-PT.pdf	51
Tabla 3.11 Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. Fuente: elaboración propia	52
Tabla 3.12 Materias primas utilizadas en el soporte inferior. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 3.13 Propiedades de los aluminios. Fuente: extraído del 21 de noviembre, www.matweb.com	62

Tabla 3.14Materias primas y descripción basado en catálogos de fabricantes. Fuente: elaboración propia	64
Tabla 3.15Material necesario para la fabricación. Fuente: elaboración propia.....	65
Tabla 3.16Propiedades del perno M12 Sp 5.8. Fuente: Catalogo de frabricantes Sodiper.....	68
Tabla 3.17Esfuerzos permisibles del código AISC para metal de aporte. Fuente: Diseño de Ingeniería, Shigley.....	69
Tabla 3.18Esfuerzos de corte permisibles de los electrodos. Fuente: Diseño de ingeniería mecánica, Shigley, 2008+.....	71
Tabla 3.19Características del perfil. Fuente: extraído el 23 de noviembre, www. kapeuf.cl....	71
Tabla 3.20Detalle de componentes y fuerza ejercida. Fuente: elaboración propia	72
Tabla 3.21 Detalles de los componentes del laminador. Fuente: elaboración propia	72
Tabla 3.22Selección de los componentes eléctricos y descripción. Fuente: elaboración propia	77
Tabla 4.1Trabajo en frío del aluminio 1100-O. Fuente: elaboración propia..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.2Trabajo en frío para aluminio 2024-T4. Fuente: elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.3Trabajo en frío del aluminio 6061-O. Fuente: elaboración propia..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.4Trabajo en frío del aluminio 6061-T6. Fuente: elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.5Trabajo en frío del aluminio 7075-O. Fuente elaboración propia ...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.6Resultados obtenidos del análisis de cargas con el programa ANSYS. Fuente: elaboración propia	82
Tabla 4.7Resumen de los costos obtenidos. Fuente: elaboración propia	86
Tabla 4.8Detalle de los costos de la material prima. Fuente: elaboración propia	111