

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LAMINACIÓN DE ROSCAS EN
FRÍO PARA ALUMINIO IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA DFMA**



**ALEXANDER YESID SIMANCA BUSTAMANTE
ÓSCAR DAVID GALVIS DORIA**

DIRECTOR: ELKIN CAMILO MEDELLÍN PÉREZ

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

MONTERÍA, CÓRDOBA

2020.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE LAMINACIÓN DE ROSCAS EN
FRÍO PARA ALUMINIO IMPLEMENTANDO LA METODOLOGÍA DFMA**

ALEXANDER YESID SIMANCA BUSTAMANTE

ÓSCAR DAVID GALVIS DORIA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director del proyecto

ING. ELKIN CAMILO MEDELLIN PÉREZ

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MONTERÍA – CÓRDOBA

2020

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

NOTA DE ACEPTACIÓN

ELKIN CAMILO MEDELLIN PÉREZ

Director

VALERY LANCHEROS

Jurado

YAHIR ENRIQUE GONZÁLEZ DÓRIA

Jurado

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios por darme la oportunidad de estudiar en una institución de educación superior, por otorgarme sabiduría y constancia en mis decisiones para terminar mis proyectos de vida.

A mi madre Amalfi Bustamante, sin ella no lo habría logrado. Gracias a su apoyo incondicional, amor, consejos y por haberme forjado a la persona que soy en la actualidad.

A mi novia Heidy Díaz, por su apoyo incondicional, por su amor, que son el detonante de mi esfuerzo y de mis ganas de ser una persona prospera.

A Carmen Rangel, te agradezco tu ayuda desinteresada, por estar ahí cuando siempre lo necesité y por aportar considerablemente en todo mí proyecto.

A mi compañero y hermano de mil batallas Oscar Galvis que a pesar de todas las dificultades siempre estuvo ahí y se pudo sacar adelante este sueño.

A mi amigo y tutor Elkin Medellín, que siempre fue una voz de consejos, enseñanzas y aliento para luchar por los sueños y nunca desfallecer. Gracias por todo.

Alexander Simanca

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi compañero, amigo y hermano Alexander por estar firme en todo el proceso académico y por el apoyo moral, que siempre me brindo.

A nuestro profesor, amigo y futuro colega Elkin Medellín por su orientación, ayudas y consejos.

Óscar Galvis

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por guiarnos en el camino y fortalecernos espiritualmente a lo largo de nuestras vidas.

Nos gustaría que estas líneas sirvan para expresar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, al ingeniero Elkin Camilo Medellín Pérez director de este proyecto de grado, por su orientación, confianza, apoyo y entrega recibida a lo largo de este camino. Dentro de este camino hicimos grandes amigos que ayudaron de una forma u otra a que esto sea posible, Javier Dumar por estar presente cada vez que se requería.

Quisiéramos hacer extensiva nuestra gratitud a nuestros compañeros, jefe de departamento, cuerpo docente y secretarias del Departamento de ingeniería mecánica de la universidad de córdoba.

A todos ellos nuestra más sincera gratitud...

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos.....	17
1. REVISIÓN DE LITERATURA	18
1.1 Laminado de metales	18
1.1.1 Laminado de formas.....	19
1.1.2 Laminado de rosca	19
1.1.3 Laminado de barras y perfiles	20
1.1.4 Laminado de anillos	21
1.1.5 Laminado Plano.....	21
1.2 Fundamentos de laminación	23
1.3 Laminación de roscas y perfiles	26
1.4 Variables principales del proceso de laminación	27
1.4.1 El diámetro de los rodillos	27
1.4.2 La resistencia a la deformación del metal	28
1.4.3 Comportamiento del material en el formado de metales.....	29
1.6 Determinación de la fuerza de alimentación y la potencia de entrada	31
1.7 Tipos de conformado en el laminado	32
1.7.1 Conformado en caliente	32
1.7.2 Conformado en frío.....	34
1.7.3 Ventajas y desventajas del conformado en frío y en caliente	35
1.8 Endurecimiento por deformación plástica.....	36
1.9 Relación entre el trabajo en frío con la curva esfuerzo deformación	37
1.10 Aluminio, propiedades generales y producción	38
.....	41
1.11 Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA).....	42
1.11.1 Diseño para ensamble y desensamble.....	43
1.11.2 Eficiencia del ensamble	44
1.11.3 Complejidad del ensamble.....	45
2. MATERIALES Y MÉTODOS	49
2.1 Identificación de parámetros y componentes utilizados para el diseño del equipo de laminación de rosca.	49
2.1.1 Diseño del equipo laminador.....	52

2.2	Desarrollo de la metodología DFMA en la etapa de diseño usando la herramienta de diseño Solidworks®	60
2.3	Construcción y validación del equipo de laminación de acuerdo a los parámetros establecidos en la etapa de diseño	62
2.3.1	Validación	63
3.	RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	65
3.1	Diseño y selección de componentes	65
3.1.1	Selección de la cadena	65
3.1.2	Selección de la piñonearía en la fase de transmisión	67
3.1.3	Diseño de los ejes de transmisión	68
3.1.4	Selección y diseño de las cuñas	75
3.2	Desarrollo de la metodología DFMA en la etapa de diseño usando la herramienta SolidWorks 2016®	77
3.3	Construcción y valida	86
3.3.1	Construcción de las placas laterales	86
3.3.2.	Construcción del rodillo de laminación y ejes de transmisión	87
3.3.2	Ensamble del equipo de laminación.....	88
3.3.3	Ensayo con probetas.....	92
4	CONCLUSIONES.....	96
5	BIBLIOGRAFIA.....	97
	ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Diversos procesos de laminación de formas y planas	18
Figura 1.2- Esquema del proceso de laminado de roscas.....	19
Figura 1.3 - Esquema del proceso de laminado de barras y perfiles	20
Figura 1.4 - Esquema del proceso de laminado de anillos	21
Figura 1.5 - Esquema del proceso de laminado plano.....	22
Figura 1.6 - Esquema del proceso de laminado plano y las variables involucradas	22
Figura 1.7 - Laminación por rosca	23
Figura 1.8 - Rosca maquinada o Rosca laminada	23
Figura 1.9 - Esquema del equipo de laminación	24
Figura 1.10 - Esquema de las fuerzas aplicada en la placa	24
Figura 1.11 - Esquema de las fuerzas aplicadas a la placa.....	25
Figura 1.12 - Microestructura y comportamiento del grano durante el proceso de conformado en caliente	34
Figura 1.13 - Microestructura y el comportamiento del grano en el proceso de conformado	35
Figura 1.14 - Diagrama esfuerzo en función de la deformación según trabajos de endurecimiento por deformación aplicados a la placa	38
Figura 1.15 - Cuba electrolítica utilizada en la producción del aluminio.	39
Figura 1.16 - Clasificación de las aleaciones de aluminio según su elemento aleante	40
Figura 1.17 - Clasificación de las aleaciones forjadas que son tratadas térmicamente o templadas	41
Figura 1.18 - Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio	41
Figura 2.1 - Esquema del equipo de laminación de rosca de trabajo en frío para aluminio diseñado bajo los lineamientos de la metodología para manufactura y ensamble DFMA.....	50
Figura 2.2 - Composición química y propiedades mecánicas del acero AISI 1045 CD	54
Figura 2.3 - Propiedades mecánicas del acero AISI 1045 CD	55
Figura 2.4 - Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 CD	57
Figura 2.5 - Aluminio reciclado utilizado para fundición de probetas.....	63
Figura 2.6 - Horno de crisol móvil para fundición.....	64
Figura 3.1 Tabla de capacidad cadena estándar sencilla de rodillos No 60 paso $\frac{3}{4}$ "	66
Figura 3.2 - Tabla de dimensiones de los piñones paso $\frac{3}{4}$ "	67
Figura 3.3 - Diseño eje primario	68
Figura 3.4 - Diagrama de cuerpo libre del eje primario	69
Figura 3.5 - Diagrama de esfuerzo cortante para el eje de los rodillos en el plano	70
Figura 3.6 - Diagrama de momento flector para el eje de los rodillos en el plano	71
Figura 3.7 - Diagrama de cuerpo libre para el eje de los rodillos en el plano XY	72
Figura 3.8 - Diagrama de esfuerzo cortante para el eje de los rodillos en el plano XZ	73
Figura 3.9 - Diagrama de momento flector para el eje de los rodillos en el plano XZ	73
Figura 3.10 - Análisis FDS base fija + pie de amigos.....	78
Figura 3.11 - Análisis estático de tensiones para el rodillo.....	79
Figura 3.12 -Análisis del factor de seguridad para el rodillo	80

Figura 3.13 - Diseño base +pie de amigos	86
Figura 3.14 - Diseño del rodillo de laminación de rosca	87
Figura 3.15 - Ensamble de los piñones en el eje de transmisión de la primera fase.	88
Figura 3.16 - Ensamble de los ejes de transmisión, rodamientos y piñonería en las placas laterales	89
Figura 3.17 - Montaje de los rodillos de laminación.....	89
Figura 3.18 - Montaje de las cadenas de transmisión de movimiento	90
Figura 3.19 - Equipo de laminación de roscas construida.....	91
Figura 3.20 - Probetas fundidas para ensayos de tensión.....	92
Figura 3.21 - Diagrama esfuerzo – Deformación unitaria para probetas de aluminio reciclado fundido	93
Figura 3.22 - Probetas fundidas para ensayos de laminación	94
Figura 3.23 - Probetas fundidas laminadas	95
Figura 3.24 - Probetas fundidas laminadas con tuerca.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 - Coeficiente de resistencia y exponente de endurecimiento	30
Tabla 1.2 - Determinación de la constante B	32
Tabla 1.3 - Características y propiedades obtenidas en los procesos de conformado por laminación	35
Tabla 2.1 Parámetros (P) y componentes (C) iniciales utilizados para el diseño del equipo de laminación de roscas	50
Tabla 2.2 - Herramientas y maquinaria utilizada para la construcción del equipo	62
Tabla 3.1 - Datos de la cadena	66
Tabla 3.2 - Especificaciones de las propiedades de los rodillos de laminación	70
Tabla 3.3 - Especificaciones para el diseño del eje de transmisión de los rodillos.....	74
Tabla 3.4 Tabla cuñeros y cuñas del catálogo comercial	76
Tabla 3.5 - Criterios de selección de la cuña para el eje de 31.75 mm de diámetro	76
Tabla 3.6 - Equipo de laminación plana para placas de aluminio	81
Tabla 3.7 - Partes y piezas que conforman el diseño del equipo de laminación	83
Tabla 3.8 - Partes y piezas que conforman el diseño del equipo de laminación	83
Tabla 3.9 - Datos iniciales para los ensayos en el equipo de laminado	93
Tabla 3.10 - Medidas de los diámetros de las probetas.....	94
Tabla 3.11 - Medidas de los diámetros de las probetas.....	94

RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño y construcción de un equipo de laminación de roscas en frío para probetas de aluminio con el fin de desarrollar ensayos referentes al conformado y procesado de materiales por el concepto de laminado, buscando realizar prácticas de laboratorio que permitan contrastar los conocimientos teóricos con los prácticos.

El equipo fue diseñado bajo los parámetros establecidos por la teoría de laminación, ensayos, pruebas preliminares, recomendación de expertos y criterios propios de los diseñadores. Se diseñaron los elementos mecánicos y se seleccionaron los materiales apropiados. Usando el software de diseño SolidWorks se realizaron simulaciones de componentes determinando que los esfuerzos producidos por las cargas estuvieron por debajo del límite de fluencia del material evitando fallas. Del mismo modo, para la construcción se tuvo en cuenta la metodología para la manufactura y ensamble DFMA la cual busco reducir el número de componentes y el tiempo de ensamble del equipo.

Por último, para la validación del equipo se verifico su correcto funcionamiento y se realizaron ensayos a tres probetas, ejecutando una pasada para cada una; buscando realizar la laminación del roscado, se determinó que la rosca es aceptable y se mostró también que la diferencia de fuerza teórica y la experimental fue menor a un 10%.

Palabras Claves: Laminación, procesos de manufactura, SolidWorks, DF

INTRODUCCIÓN

El aluminio es el segundo elemento metálico más abundante en la tierra, convirtiéndose en uno de los elementos de mayor aplicación en ingeniería en los últimos tiempos y en competidor económico de las aleaciones ferrosas. La aleación de alumina fue desarrollada por Charles Hall y Pau Heroult en Francia jugando un papel importante en los avances tecnológicos de la época, siendo aplicada en el desarrollo de motores de combustión interna, construcción de estructuras, redes de energía eléctrica, generadoras de energía, aviación, componentes de satélites, decoración y utensilios (Handbook, 1997). En el mundo se producen 44100 toneladas de aluminio, los países con mayor producción entre el 2009 y 2011 fueron república de china con 18000, Rusia 4000, Canadá 2970, Estados unidos 1990, Australia 1930 toneladas respectivamente (Becerra et.al, universidad católica de chile). Colombia que no cuenta con minas de aluminio, la producción es mínima, por lo que se hace necesaria la importación de Venezuela, Rusia, China e India (Borda O, Universidad javeriana Bogotá). El proceso productivo del aluminio inicia con la fundición, aleándolo con diferentes elementos que proporcionan propiedades físicas y mecánicas dependiendo del uso. Así mismo, otra forma de manufacturar el aluminio es mediante procesos como extrusión, laminación, entre otros. Constituyendo a la laminación como el proceso de conformado de materiales con mayor utilización en la industria después de la forja. (Kalpakjian, 2008).

La ingeniería mecánica por su parte tiene una amplia aplicación en la mayoría de procesos industriales, es por ello que un ingeniero adquiere conocimientos en distintas disciplinas del saber. Un ingeniero que se desenvuelve en las áreas de metalmecánica y procesado de materiales debe manejar con claridad los conceptos de los procesos, ya que estos conocimientos son de vital importancia porque proporcionan aprehensión y son una herramienta necesaria para comprender el comportamiento general de cualquier material; lo cual permite desarrollar adecuadamente diseños de componentes, sistemas y procesos que sean confiables y económicos (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2011).

Los procesos de conformado de metales comprenden un amplio grupo de procesos de manufactura, en los cuales se usa la deformación plástica para cambiar las formas de las piezas metálicas. Por ejemplo, laminado, embutido, doblado, entre otros; es deber de todo Ingeniero Mecánico conocer a profundidad estos procesos, por ende, se tiene como objetivo profundizar académicamente en el conocimiento de laminación de roscas.

Este proyecto se fundamenta en el diseño y la construcción de un equipo de laminación de roscas en frío para metales blandos (aluminio), para dotar el laboratorio de materiales y procesos con un equipo de estas características, y que los estudiantes puedan realizar sus prácticas con mejores condiciones técnicas y poner en práctica los conocimientos adquiridos para completar el proceso de formación teórico – práctico en el menor tiempo posible y contado con recursos propios del laboratorio del programa de ingeniería mecánica.

Para el cumplimiento de lo propuesto se desarrollaron tres fases, que consistían en la identificación de componentes y parámetros para el diseño del equipo, desarrollo de la metodología DFMA usando la herramienta de diseño asistido SolidWorks 2016 ®, por último, la construcción y validación del equipo en donde se realizaron pruebas de laminado y se analizaron los resultados.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar y construir un equipo de laminación de rosca para aluminio a temperatura ambiente basándose en la metodología DFMA usando herramientas de diseño asistido por computador, para el laboratorio de materiales y procesos de ingeniería mecánica de la universidad de Córdoba.

Objetivos específicos

- Identificar los componentes y parámetros necesarios en un equipo de laminación de rosca a fin de establecer las características más adecuadas para el diseño.
- Diseñar el prototipo basándose en la metodología DFMA usando herramientas de diseño asistido por computador.
- Construir y validar el equipo de laminación de acuerdo a los parámetros establecidos en la etapa de diseño.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Laminado de metales

El laminado es un proceso de deformación que consiste en reducir el espesor o en cambiar la sección transversal de una pieza o material de trabajo mediante fuerzas de compresión ejercidas por un conjunto de rodillos. La laminación se aplica aproximadamente en el 90 % de todos los metales producidos mediante procesos de conformado y se desarrolló por primera vez en el siglo XVI (Kalpakjian, 2008). El proceso se divide en dos grupos laminación de formas y laminación plana que depende esencialmente del producto final deseado. La Figura 1.1 ilustra diversos procesos de laminado de formas y plano.

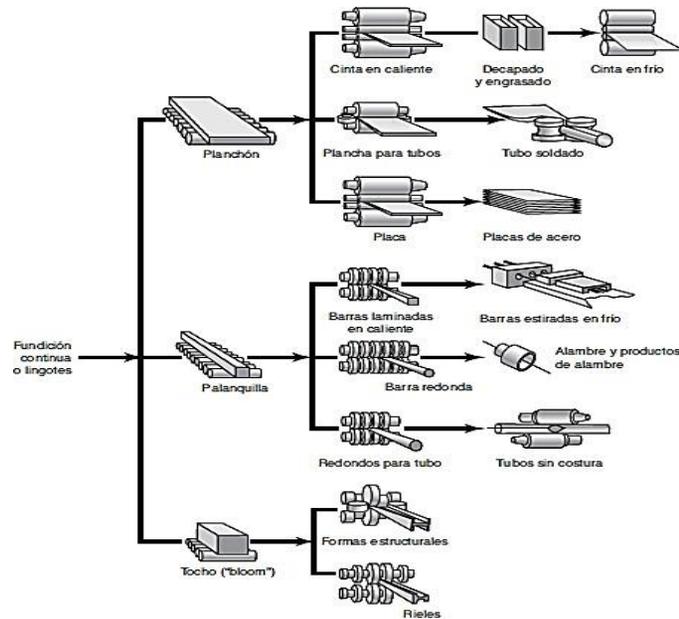


Figura 1.1 - Diversos procesos de laminación de formas y planas
Fuente: Kalpakjian, 2008

A continuación, se describen brevemente los procesos de laminado de formas y plano.

1.1.1 Laminado de formas

Se han desarrollado varios procesos de laminación para producir una familia específica de formas en productos terminados. A continuación, se mencionan algunos procesos de conformado por laminación de formas (Escuela colombiana de ingeniería julio Garavito, 2011; Kalpakjian, 2008).

1.1.2 Laminado de rosca

Usando el proceso con dos rodillos la pieza se coloca normalmente sobre una regleta. Por lo menos uno de los rodillos tiene movimiento axial para realizar el conformado. Simultáneamente los rodillos están girando de manera sincrónica en contacto con la pieza de manera que el perfil es conformado.

Este proceso de conformado en frío que se ilustra en la figura 1.2 se usa para formar roscas en piezas cilíndricas mediante su laminación entre dos matrices obteniéndose productos terminados como pernos, tornillos, entre otros.

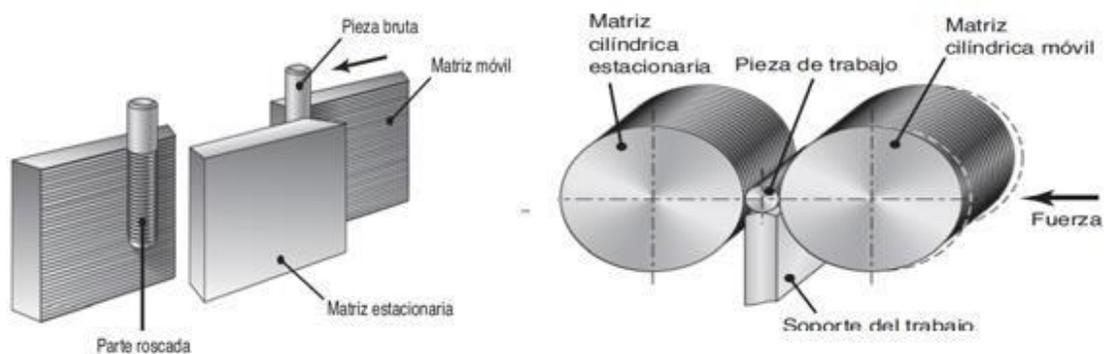


Figura 1.2- Esquema del proceso de laminado de roscas

Fuente: Kalpakjian, 2008

1.1.3 Laminado de barras y perfiles

En este proceso, el material de trabajo se deforma para generar un contorno en la sección transversal, es decir, donde la sección transversal del material es reducida en dos direcciones. Los productos hechos por este procedimiento incluyen perfiles de construcción como vigas en I, en L o canales en U; rieles para vías de ferrocarril, barras redondas, cuadradas y varillas. El proceso se realiza pasando el material de trabajo a través de rodillos que tienen impreso el reverso de la forma deseada como se muestra en la figura 1.3.

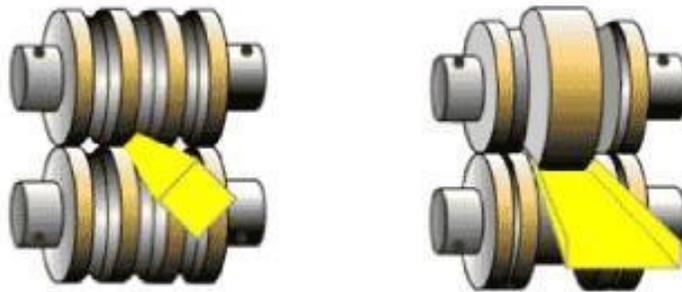


Figura 1.3 - Esquema del proceso de laminado de barras y perfiles
Fuente: Kalpakjian, 2008

1.1.4 Laminado de anillos

El laminado de anillo consiste en laminar las paredes gruesas de un anillo para obtener anillos de paredes más delgadas, pero de un diámetro mayor. Algunos productos obtenidos son collares para rodamientos de bolas y rodillos, llantas de acero para ruedas de ferrocarril y cinchos para tubos, recipientes a presión y máquinas rotatorias. En la figura 1.4 se muestra el esquema de este proceso.

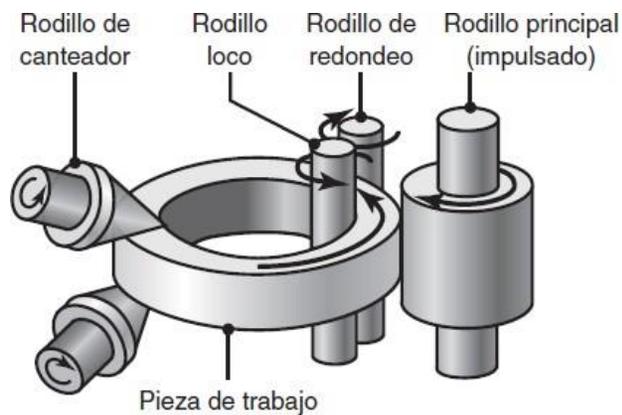


Figura 1.4 - Esquema del proceso de laminado de anillos
Fuente: Kalpakjian, 20

1.1.5 Laminado Plano

La deformación plana consiste en una cinta metálica de espesor inicial h_0 que se introduce entre un par de rodillos giratorios que la reducen a un espesor final h_f . Puesto que la velocidad de la superficie del rodillo es constante, existe un deslizamiento relativo entre el rodillo y la cinta a lo largo del arco de contacto en el espacio de laminación, por consiguiente, las fuerzas de fricción que se opone al movimiento entre los dos cuerpos deslizantes actúan sobre la cinta haciendo que los rodillos tiren el material por medio de una fuerza de fricción neta (Groover M, 2007). El

proceso involucra el laminado de planchas, tiras, láminas y placas o piezas de trabajo rectangular con un ancho mayor que el espesor como se muestra en la figura 1.5. Adicionalmente, en la

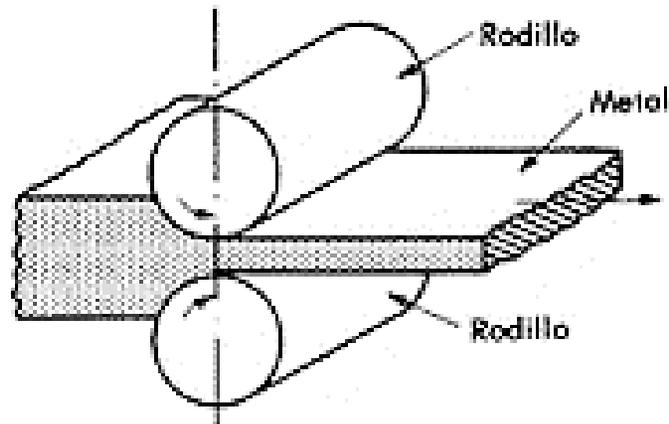


figura 1.6 se muestra el esquema del laminado plano y las variables que involucra.

Figura 1.5 - Esquema del proceso de laminado plano
Fuente: Kalpakjian, 2008

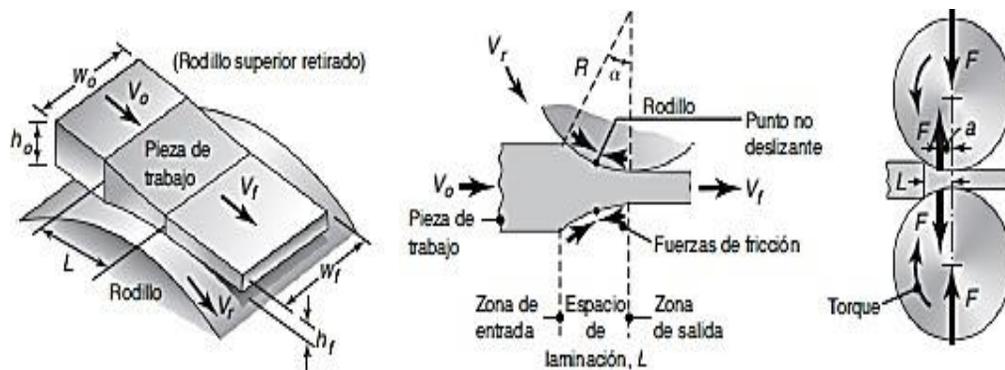


Figura 1.6 - Esquema del proceso de laminado plano y las variables involucradas
Fuente: Kalpakjian, 2008

1.2 Fundamentos de laminación

En su forma más elemental, un equipo de laminación está constituido por dos o más cilindros que giran en el mismo sentido como se observa en la figura 1.7. La distancia entre las superficies cilíndricas enfrentadas es adaptable para poder introducir el esparrago a laminar por lo que este está en contacto con la matriz de los rodillos de laminación y adquiere dicha forma.

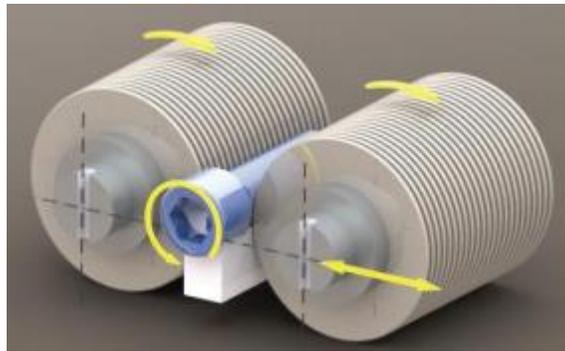


Figura 1.7 - Laminación por rosca
Fuente (Catalogo-Seny-maquinas)

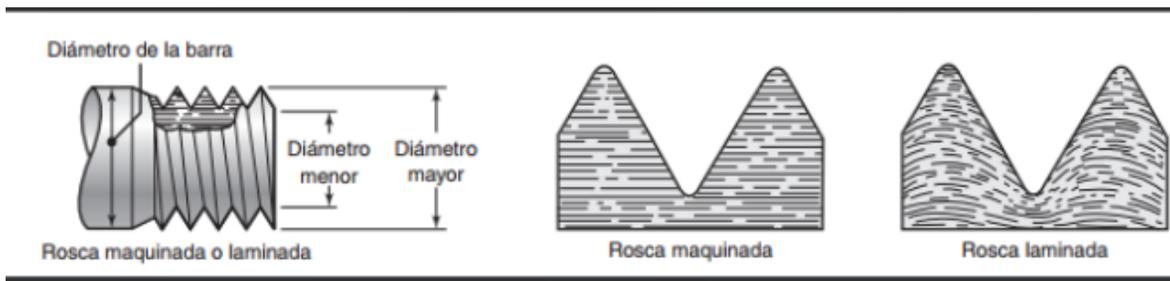


Figura 1.8 - Rosca maquinada o Rosca laminada
Fuente: (Kalpakjian, 2008)

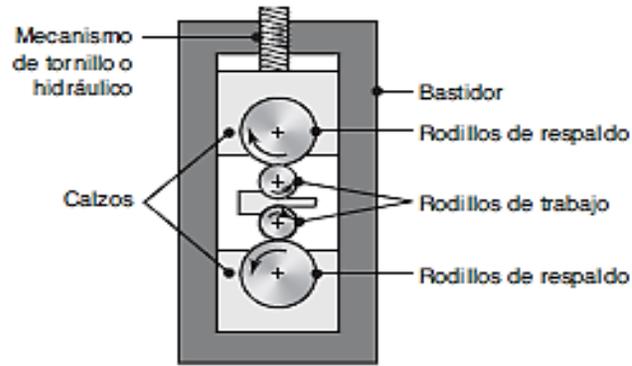


Figura 1.9 - Esquema del equipo de laminación
Fuente: Kalpakjian, 2008

En el proceso de laminado se presentan 3 tipos de fuerzas que actúan sobre la placa como se ilustra en la figura 1.10. La primera, una fuerza vertical perpendicular a la sección de la placa que permite el aplastamiento, una transversal que se debe al torque que los rodillos ejercen sobre la placa y una fuerza de tracción longitudinal al plano que es causadas por las fuerzas compresivas (Enríquez L, et. al, 2010).

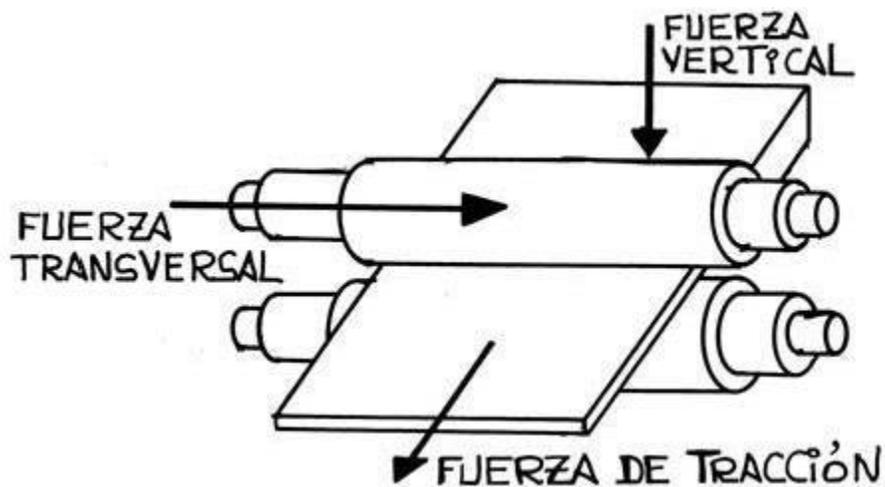


Figura 1.10 - Esquema de las fuerzas aplicada en la placa
Fuente: Enríquez L, et. al (2010)

Durante el trabajo, la placa queda sometida a la acción de una fuerza R normal a la superficie de contacto y a un ángulo α formado en el contacto del rodillo con la placa como se aprecia en la figura 1.11.

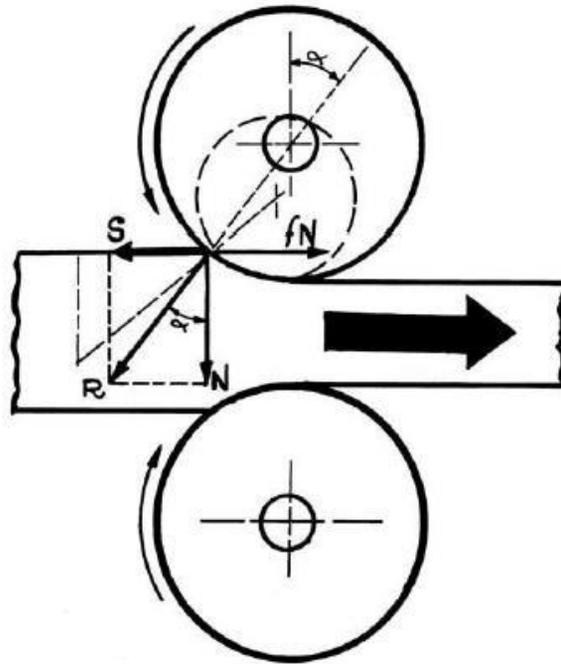


Figura 1.11 - Esquema de las fuerzas aplicadas a la placa
Fuente: Enríquez L, et. Al. (2010)

La fuerza R es la resultante de todas las fuerzas elementales que actúan sobre la superficie de contacto, puede descomponerse en dos, una es la componente horizontal o de estiramiento S y la otra es la componente normal o de aplastamiento N , sus ecuaciones matemáticas se muestran respectivamente en las ecuaciones 1.1 y 1.2 (Chaparro & Paternina, 2009).

$$S = R \operatorname{sen} \alpha \quad (1.1)$$

$$N = R \operatorname{cos} \alpha. \quad (1.2)$$

El avance de la placa es debido al rozamiento en la superficie de contacto. Por tanto, para que el avance se produzca debe cumplir la desigualdad mostrada en la ecuación 1.3; siendo f el coeficiente de rozamiento entre cilindro y la placa. Si se cumple dicha condición se tiene una fuerza horizontal T mostrada en la ecuación 1.4 que hace avanzar el lingote, mientras la componente N lo aplasta (Enríquez L, et. Al, 2010).

$$f N > S \quad (1.3)$$

$$T = f N - S \quad (1.4)$$

La placa bajo la acción del laminado, además de aplastarse y alargarse se ensancha, pasando de las dimensiones ancho a_1 y espesor inicial h_1 a las dimensiones finales a_2 y h_2 . La experiencia enseña que el efecto de ensanchamiento es notablemente menor que el de aplastamiento, puesto que el ensanchamiento no es mayor que un 0,3 o 0,4 % del aplastamiento. El objetivo de la laminación es producir una deformación permanente en el material de partida, aprovechando su ductilidad (W. Trinks & J. Montero, 1964).

1.3 Laminación de roscas y perfiles

Usando el proceso con dos rodillos la pieza se coloca normalmente sobre una regleta. Por lo menos uno de los rodillos tiene movimiento axial para realizar el conformado. Simultáneamente, los rodillos giran de manera sincrónica en contacto con la pieza de manera que el perfil es conformado.

Parámetros que influyen en la fuerza de laminado:

- Resistencia – mayor Resistencia- mayor fuerza
- Deformación - mayor Deformación- mayor fuerza
- Área de Contacto - mayor Área de Contacto- mayor fuerza

1.4 Variables principales del proceso de laminación

Las principales variables que intervienen en el proceso de laminación son: el diámetro de los rodillos, la resistencia a la deformación del metal, la resistencia a la fricción entre los rodillos y el material a laminarse, y las tensiones de tracción aplicadas al material durante el proceso de laminación.

Estas variables tienen notable incidencia en la determinación de la carga de laminación necesaria para la deformación del metal.

1.4.1 El diámetro de los rodillos

La carga de laminación está directamente relacionada con el diámetro de los rodillos. El aumento del diámetro de los rodillos implica un incremento grande de la carga de laminación bajo ciertas condiciones de fricción entre el metal a laminarse y los rodillos y para una determinada reducción de sección, debido a que el diámetro de los rodillos depende del área de contacto y de este valor las fuerzas de fricción presentes en el proceso. Así mismo, el diámetro de los rodillos resulta determinante en la reducción máxima que pueda alcanzarse con un determinado equipo, y es así

que, para laminar espesores pequeños, se usa rodillos de diámetro reducido (rodillos de trabajo) apoyados sobre cilindros que controlan la flexión y el aplastamiento de los primeros (rodillos de apoyo). El diámetro de los rodillos de apoyo, no puede ser mayor que 1.5 a 2.5 veces el de los rodillos de trabajo, y como el diámetro de los rodillos de trabajo se disminuye más y más (para adecuarse a procesos con cargas de laminado excesivamente altas), el tamaño de los rodillos de apoyo debe también disminuir. Se llega a un punto en que los rodillos de apoyo en sí mismos, comienzan a flexionarse y requieren ser apoyados, lo cual da lugar al diseño más avanzado (el molino Sendzimir).

1.4.2 La resistencia a la deformación del metal

La laminación de chapa metálica se considera como un proceso de deformación plana, en el cual el límite elástico del material que se deforma por laminación es proporcional al límite elástico del mismo material si se lo ensaya a tracción o compresión. El valor del límite elástico en deformación se puede obtener mediante el ensayo de compresión entre placas paralelas.

Normalmente se designa en la curva de esfuerzo-deformación al límite de fluencia como el límite de proporcionalidad o límite elástico en el ensayo de tracción y a partir de este valor se halla el límite plástico en deformación plana para determinar finalmente la carga de laminación. La carga de laminación es variable en el trabajo de los metales a diferentes temperaturas. En el laminado en frío la tensión de fluencia no cambia sensiblemente al variar la velocidad de deformación

(Velocidad de giro de los rodillos). Al laminar en caliente estas variaciones de velocidad producen cambios notables en la tensión de fluencia.

1.4.3 Comportamiento del material en el formado de metales

La curva de esfuerzo-deformación ofrece una visión que permite comprender el comportamiento de los metales durante su formación. La curva típica de esfuerzo-deformación para la mayoría de los metales se divide en una región elástica y una región plástica, la región plástica es de interés primordial debido a que en estos procesos el material se deforma plástica y permanentemente. En la región plástica, el comportamiento del metal se expresa por la curva de fluencia:

$$\sigma = K \epsilon^n$$

Donde K =coeficiente de resistencia, MPa (lb/in²)

n = exponente de endurecimiento por deformación

Los valores de K y n para varios metales aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1.1 - Coeficiente de resistencia y exponente de endurecimiento

MATERIAL	K		n
	psi x 10 ³	Mpa	
Al 1100 O	26	180	0,2
Al 2024 T4	100	690	0,16
Al 5052 O	30	210	0,13
Al 6061 O	30	205	0,2
Al 6061 T6	60	410	0,05
Al 7075 O	58	400	0,17
Latón 60-39-1 Pb revenido	115	800	0,33
Latón 70-30 revenido	130	895	0,49
Aleación de base Cobalto	300	2070	0,5
Cobre Revenido	46	315	0,54
Molibdeno revenido	105	725	0,13
Acero bajo carbono revenido	77	530	0,26
Acero 1045 rolado en caliente	140	965	0,14
Acero 1112 revenido	110	760	0,19
Acero 1112 rolado en frío	110	760	0,08
Acero 4135 revenido	147	1015	0,17
Acero 4135 rolado en frío	A	1100	0,14
Acero 4340 revenido	93	640	0,15
Acero inox. 302 revenido	190	1300	0,3
Acero inox. 304 revenido	185	1275	0,45
Acero inox. 410 revenido	140	960	0,1

Fuente: Budymas & Nisbett (2012)

Para la laminación de roscas se debe tener en cuenta los siguientes componentes

1.5 Avance del rollo de hilo

Q = Diámetro de premecanizado de la pieza de trabajo

d = Diámetro menor en la pieza de trabajo

R = Diámetro mayor del rollo de hilo

S = Avance del rollo de hilo

U = Profundidad de penetración del rollo de hilo = $\frac{Q+d3}{2}$

f = Distancia entre centros de rollo de hilo

$$A = Q + R - 2 \cdot U$$

Si no se especifica en las tablas, es posible calcular el avance del rollo de hilo S de la siguiente manera:

$$S = (Q \cdot U \cdot (N + 1))^{\frac{1}{2}}$$

N * = Número de inicios de hilo en el rollo

R * = diámetro del rollo

* contar o medir en entregado

1.6 Determinación de la fuerza de alimentación y la potencia de entrada

Para determinar la fuerza de avance se aplica la siguiente fórmula:

Fuerza de avance en N Longitud de hilo y diámetro de hilo en mm

A = Fuerza tangencial en N / mm de longitud de rosca

B = constante material

La potencia de entrada se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Potencia de entrada} = \frac{(\text{fuerza de avance})(\text{velocidad de laminación})}{60000}$$

Potencia de entrada [kW]

Velocidad de laminación [m / min]

Determinación de la constante de material B:

Tabla 1.2 - Determinación de la constante B

Tensile strength σ in N/mm ²	B
<300	0.5
$300 \leq \sigma \leq 500$	0.6
$500 \leq \sigma \leq 600$	0.7
$600 \leq \sigma \leq 650$	0.9
$650 \leq \sigma \leq 700$	1.0
$700 \leq \sigma \leq 800$	1.1
$800 \leq \sigma \leq 1000$	1.25
>1000	1.4

Fuente: Kalpakjian, 2008

1.7 Tipos de conformado en el laminado

El proceso de laminado puede ser efectuado por dos métodos, el primero es mediante el conformado en caliente y el segundo en frío. Este último genera una condición microestructura específica producida por un esfuerzo de deformación, este esfuerzo es de vital importancia en el procesado de láminas puesto que afecta otras propiedades relacionadas en la curva esfuerzo deformación unitaria del material resultado de un ensayo de tensión.

1.7.1 Conformado en caliente

El proceso de laminado en caliente es aquel que se realiza por encima de la temperatura de recristalización del material. En este, algunos materiales como aleaciones de aluminio y aceros se calientan a temperaturas entre 0,3 y 0,5 veces la temperatura de fusión. La temperatura de

recristalización es la temperatura a la cual los granos de la microestructura comienzan a transformarse en nuevos granos sin dislocaciones (Askelan, R. 1998). Por lo anterior, cualquier dislocación generada durante el proceso de compresión bajo los rodillos es eliminada debido a la temperatura transferida a las láminas, obteniendo como resultados granos dúctiles que pueden ser laminados idealmente cualquier número de veces.

El proceso de laminado en caliente se utiliza para estructuras de colada, o fundición comúnmente dendrítica, la cual incluye granos grandes y no uniformes (Escuela colombiana de ingeniería, 2011). Generalmente, el laminado en caliente se utiliza para deformar volúmenes grandes de material y su intención es transformar dichos volúmenes en preformas que luego puedan ser procesadas de otro modo. Durante el proceso ocurren cambios microestructurales debido a la compleja interacción de los fenómenos térmicos, mecánicos y siderúrgicos, como son la recristalización, el crecimiento del grano, la formación de orientaciones preferenciales, transformación de fases, entre otros. Además, se deben controlar varios fenómenos y variables como la temperatura, cantidad de deformación, lubricación, velocidad de enfriamiento, entre otras. Todo lo anterior tiene influencia sobre las propiedades y características finales de la lámina (Sellars, et. al. 1985; Qiquan, 2014). La consecuencia del laminado en caliente radica en

desperfectos en la superficie y un acabado de mala calidad, en materiales cuya temperatura de recristalización corresponde a temperaturas elevadas como el acero la superficie laminada reacciona con el aire del medio y forma una capa llamada calamina, este óxido debe ser removido en la mayoría de los casos por medios mecánicos o por ataque químico (Groover, 2007). En la figura 1.12 se muestra la microestructura y el comportamiento del grano en la placa durante el proceso de conformado en caliente.

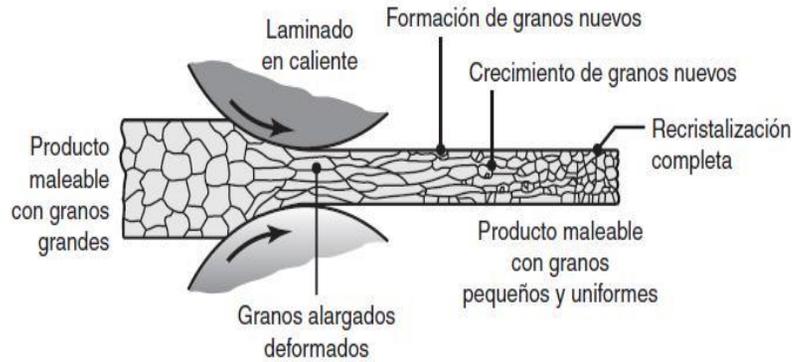


Figura 1.12 - Microestructura y comportamiento del grano durante el proceso de conformado en caliente

Fuente: Kalpakjian, 2008

1.7.2 Conformado en frío

El proceso de laminado en frío se lleva a cabo por debajo de la temperatura de recristalización. A diferencia del proceso de laminación en caliente, produce láminas y tiras con un acabado superficial mejorado debido a que generalmente no hay presencia de calamina. Además, se obtienen mejores tolerancias dimensionales y mejores propiedades mecánicas debidas al endurecimiento por deformación. En el proceso se puede tener un control sobre la deformación plástica, pues es posible medir el endurecimiento teniendo en cuenta el concepto de trabajo en frío. El endurecimiento por deformación es el fenómeno por el cual el metal dúctil se endurece a medida que se somete a deformaciones plásticas (Askelan, R. 1998) (Groover, 2007). En la figura 1.13 se muestra la microestructura y el comportamiento del grano en el proceso de conformado en frío.

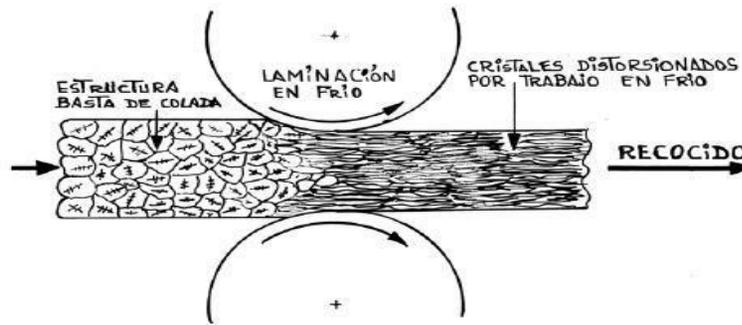


Figura 1.13 - Microestructura y el comportamiento del grano en el proceso de conformado
 Fuente: Enríquez L, et. Al, 2010

1.7.3 Ventajas y desventajas del conformado en frío y en caliente

La tabla 1.1 describe algunas características y propiedades obtenidas en los procesos de conformado por laminación, analizando las ventajas y desventajas de los dos procesos (Martínez A, 2008).

Tabla 1.3 - Características y propiedades obtenidas en los procesos de conformado por laminación

Conformado en frío	Conformado en caliente
Trabajo sin calentar pieza	Trabajo calentando la pieza
Requiere Más esfuerzo para producir la forma final deseada	Mayor facilidad de conformado, requiere menos esfuerzo y energía
Maquinaria menos costosa produciendo grandes cantidades de piezas	Mejora las propiedades mecánicas por la estructura refinada a costa de maquinaria más especializada

Durante el trabajo en frío la ductilidad, La conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión se deterioran	Más defectos internos y externos, presenta oxidación en el material y mala calidad superficial
Conformado por etapas, se debe tener en cuenta el efecto del conformado en frío	Posibilita mayor conformado facilitando obtención de formas más rápida
Mejores propiedades mecánicas (aumento del límite elástico)	Rompe la estructura cristalina para formar otra más refinadas de granos pequeños
No requiere limpieza previa, presenta menor Oxidación y menor Contaminación.	Las impurezas se deshacen y distribuyen uniformemente

Fuente: Martínez A, 2008

1.8 Endurecimiento por deformación plástica

El endurecimiento por deformación plástica de un metal se produce cuando se incrementa su número de dislocaciones al aplicar un esfuerzo superior a la fluencia generando una distorsión en la estructura. Estas dislocaciones empiezan a deslizar e interactuar entre sí generando barreras que impiden su movimiento a través de la red, por lo tanto, este apilamiento y anclaje de dislocaciones incrementa la resistencia a deformaciones posteriores. Una característica de la deformación plástica es que el esfuerzo necesario para iniciar el desplazamiento en el plano principal es menor que el requerido para continuar la deformación en planos subsecuentes. Un material cuyos granos se encuentran distorsionados después de finalizada la deformación plástica se considera un material trabajado en frío. Ahora bien, todas las propiedades del material experimentan cambios como el incremento de su Resistencia última y dureza mientras disminuye su ductilidad y los granos adoptan una orientación definida (Dieter G, 1986) (Callister, W. 1995).

En la ecuación 1.1 se representa una expresión matemática que permite calcular el porcentaje de reducción en el trabajo en frío.

$$\%REDUCCIÓN EN FRÍO = \left(\frac{\text{Espesor inicial} - \text{espesor final}}{\text{Espesor inicial}} \right) * 100 \quad (1.1)$$

Al incrementar el trabajo en frío, también aumenta el límite elástico como la resistencia a la tensión, sin embargo; la ductilidad se reduce acercándose a cero, es decir si se intenta más el trabajo en frío en el metal se romperá. Por lo tanto, existe un máximo de trabajo en frío y se puede determinar mediante las aplicaciones de carga al metal (Askelan, R. 1998).

1.9 Relación entre el trabajo en frío con la curva esfuerzo deformación

El trabajo en frío es un proceso mediante el cual una aleación simultáneamente se deforma y endurece generando incremento en el número de dislocaciones. Este fenómeno se puede controlar para darle al material una forma utilizable, de igual modo, mejorar y controlar sus propiedades (Askelan, R. 1998).

En la figura 1.14, se muestran tres curvas de esfuerzo en función de la deformación de un material dúctil. Nótese que si se aplica un esfuerzo σ_1 superior al límite elástico se causa una deformación permanente, es decir, se conserva al desaparecer el esfuerzo. Si del mismo modo probamos con un esfuerzo σ_2 mayor que σ_1 se obtiene una curva como la mostrada en (b) con un nuevo límite elástico σ_2 . Por ello, cada vez que se aplique un esfuerzo más alto, se incrementarán tanto el límite elástico como la resistencia a la tensión y la ductilidad se reducirán. Al aplicar un

esfuerzo que sobrepase el límite elástico original del metal, hemos endurecido por deformación (Askelan, R. 1998).

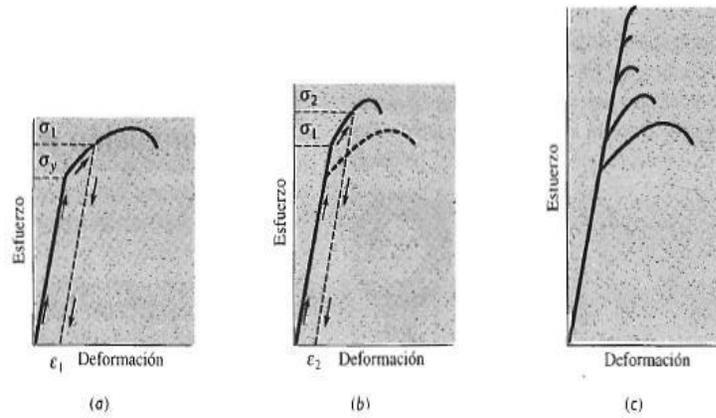


Figura 1.14 - Diagrama esfuerzo en función de la deformación según trabajos de endurecimiento por deformación aplicados a la placa
Fuente: Askelan, R. 1998

1.10 Aluminio, propiedades generales y producción

Smith W y Hashemi J en el 2006 mencionaron que el aluminio tiene una combinación de propiedades que lo hacen sumamente útil como material de ingeniería; por ejemplo, baja densidad (2.70 g/cm^3), buena resistencia a la corrosión, baja resistencia, aunque aleado puede adquirir valores alrededor de 690 MPa, no es toxico, posee buenas propiedades eléctricas, entre otras. Al ser el elemento metálico más abundante en la superficie de la tierra la bauxita formada principalmente por óxidos de aluminio es el mineral comercial más importante que se usa para producir aluminio. Para la producción de aluminio se usa el método de Bayer, el cual consiste en hacer reaccionar la bauxita con hidróxido de sodio caliente para convertir el aluminio del mineral de hierro en aluminato de sodio. Luego, se separa el hidróxido de aluminio haciéndolo precipitar a partir de la solución de aluminato al fondo de la cuba electrolítica en donde se deja espesar y se calcina para obtener óxido de aluminio como se muestra en la figura 1.15.

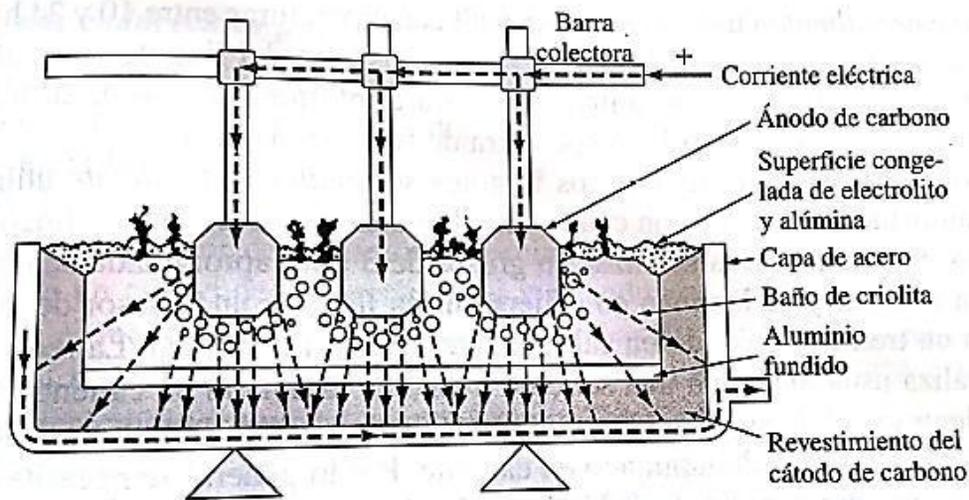


Figura 1.15 - Cuba electrolítica utilizada en la producción del aluminio.

Fuente: Smith W & Hashemi J (2006)

Por último, el aluminio se extrae de la cuba y se lleva a grandes hornos en donde se refina antes de fundirlo, luego de la fundición se obtienen formas primarias como lingotes, láminas, entre otros.

Las aleaciones de aluminio se pueden clasificar según el método de producción utilizado. Las aleaciones producidas por forja se clasifican de acuerdo con sus principales elementos aleados, la cual para su identificación se utiliza una clave numérica de cuatro dígitos como se muestra en la figura 1.16, el primer dígito indica el elemento aleado, el segundo indica la modificación de la aleación original o los límites de su impureza y los dos últimos identifican a la aleación de aluminio o indican su pureza (Smith W & Hashemi J, 2006).

Aluminum alloy designation systems.

Alloy type ^a	Four-digit designation
Wrought alloys	
99.00% (min) aluminum	1XXX
Copper	2XXX
Manganese	3XXX
Silicon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium and silicon	6XXX
Zinc	7XXX
Others	8XXX
Casting alloys	
99.00% (min) aluminum	1XX · X
Copper	2XX · X
Silicon with added copper and/or magnesium	3XX · X
Silicon	4XX · X
Magnesium	5XX · X
Zinc	7XX · X
Tin	8XX · X
Others	9XX · X

Figura 1.16 - Clasificación de las aleaciones de aluminio según su elemento aleante
Fuente: Maffia, 2013

Por otro lado, las aleaciones forjadas que son tratadas térmicamente o templadas siguen el mismo sistema y se separan por un guion indicando el tipo de temple utilizado se usa por lo general una letra mayúscula seguida de un número, por ejemplo 6061 – T6. La notación F indica que la aleación está en estado tosco de fabricación, O recocido y recristalizado temple de baja solidez y alta ductilidad, H endurecido por tensión y T tratado térmicamente para producir temple estables distintos de F u O, como se muestra en la figura 1.17.

Heat treatment and temper nomenclature for aluminum alloys.^a

Suffix letter (indicates basic treatment or condition)	First suffix digit (indicates secondary treatment)	Second suffix digit (indicates residual hardening)
F, as fabricated		
O, annealed/wrought products only		
H, cold-worked/work-hardened	1, cold-worked only 2, cold-worked and partially annealed 3, cold-worked and stabilized	2, 1/4 hard 4, 1/2 hard 6, 3/4 hard 8, hard 9, extra hard
W, solution heat-treated		
T, heat-treated/stable	1, partial solution plus natural aging 2, annealed cast products only 3, solution plus cold work 4, solution plus natural aging 5, artificially aged only 6, solution plus artificial aging 7, solution plus stabilizing 8, solution plus cold work and artificial aging 9, solution plus artificial, aging and cold work	

^aAdded as suffix letters and digits to the alloy number.

Figura 1.17 - Clasificación de las aleaciones forjadas que son tratadas térmicamente o templadas

Fuente: Maffia, 2013

Aleación	Carga Rotura	Límite Elástico	Alargamiento	Dureza Brinell
NORMAS A.A.	Rm - N / mm ²	Rp 0,2 - N / mm ²	A 5,65 %	HB
7075 - T7351	440	360	6	140
7075 - T6 / T651	470	400	5	130
2024 - T5	425	315	5	125
7020 - T6 / T651	350	290	10	120
2024 - T3	400	270	8	120
2007 - T3	340	220	6	115
2014 - T4	430	275	18	110
2007 - T4	330	210	7	110
2017 - T4	380	260	12	105
2011 - T3	380	295	15	100
6061 - T6 / T651	150	110	16	95
6062 - T6 / T651	295	250	8	95
2030 - T4	330	210	7	95
6000 - T5	190	150	8	85
5052 - H34	195	90	30	70

Figura 1.18 - Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio

Fuente: ALCUPLA, 2016

1.11 Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA)

Durante mucho tiempo se ha recomendado que los diseñadores deben prestar atención a posibles problemas de fabricación en los diseños. Tradicionalmente, la idea era que un diseñador competente debía estar familiarizado con la fabricación de procesos para evitar añadir costos a la fabricación. Desde 1980 se ha reconocido que es necesario tomar en cuenta la fabricación y el montaje en el ciclo de diseño de un producto, una manera de lograr esto es que los ingenieros diseñen de manera simultánea y concurrente puesto que el proceso de diseño implica entre el 70 y 95 % de todos los gastos (Handbook, 1997).

El término *Design for Manufacturing* (DFM) significa diseño para fácil fabricación, en los procesos de manufactura se refiere a la fabricación de un componente individual de un conjunto y en montaje se refiere a la adición de partes para formar un producto completo (Boothroyd, 1994). Entre los métodos de apoyo al diseño del producto está el *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), que permite considerar la manufactura y el montaje todavía durante la etapa de diseño. Este método es utilizado como apoyo para mejorar el concepto de un producto o un diseño ya existente, resultando en un diseño mejor elaborado. El objetivo del DFMA es contribuir para la generación de un diseño dentro de la capacidad de manufactura de la empresa, buscando también facilitar el montaje del producto final (Estorilio C & Simião M, 2006).

Las partes y los componentes individuales producidos por diversos procesos de manufactura se ensamblan para producir productos simples o complejos, es por ello que se debe considerar un método de ensamble que dependa de la capacidad de producción, la cantidad total a producir, el

ciclo de vida del producto, la disponibilidad de mano de obra y el costo. En la actualidad existen tres métodos básicos de ensamble y pueden ser utilizados por separado o en combinación (Kalpakjian, 2008), dichos métodos son:

- Método manual de ensamble.
- Método automático de alta velocidad.
- Método Robótico.

1.11.1 Diseño para ensamble y desensamble

Las consideraciones para el ensamblaje y desensamble de un equipo son descritos en la fase de diseño del producto, muchos aspectos y sistemas de manufactura son analizados como se describen:

➤ **Diseño para ensamble:** Aunque durante algún tiempo las funciones de un producto y su diseño para la manufactura han sido aspectos de interés principal, el diseño para ensamble (DFA) ha atraído atención especial, debido a la necesidad de reducir los costos de ensamble. Los lineamientos generales del diseño para ensamble se resumen como:

- Reducir la cantidad y variedad de partes en un producto simplificando el diseño del producto e incorporando múltiples funciones en una sola parte.
- Utilizar partes comunes tanto como sea posible.

- Las partes deben tener un alto grado de simetría o un alto grado de asimetría de manera que no puedan instalarse incorrectamente o no requieran localización, alineación o ajuste. Los diseños deben permitir que las partes se ensamblen sin obstrucciones.
- Considerar métodos como montajes instantáneos y evitar la necesidad de sujetadores como tornillos, tuercas y pernos.
- Los diseños de partes deben considerar factores como tamaño, forma, peso, flexibilidad, abrasión y posible enredo con otras partes.
- Los dispositivos sujetadores de piezas deben posicionar la pieza de trabajo, mantener su localización con exactitud y con la suficiente fuerza de sujeción para soportar la operación específica
- Los soportes deben tener suficiente rigidez para resistir los esfuerzos normales y de cizallado desarrollados en las interfaces de la pieza de trabajo y el soporte.

➤ **Diseño para desensamblable:** La manera y facilidad con que un producto se puede separar para darle mantenimiento o para reemplazar sus partes es otra consideración

Importante en el diseño de los productos. El enfoque general del diseño para desensamblable exige la consideración de factores similares a los ya indicados para el ensamble. Un aspecto importante del diseño para desensamblable es como después de su ciclo de vida se separa un producto para reciclaje y en particular los componentes más valiosos.

1.11.2 Eficiencia del ensamble

Se han dirigido esfuerzos significativos hacia el desarrollo de herramientas analíticas y basadas en computadoras para calcular la eficiencia de las operaciones de ensamble. Estas herramientas

proporcionan una base para comparaciones de diseños y la selección objetiva de atributos que hacen que el ensamble sea más fácil. Para valorar la eficiencia del ensamble se evalúan las características de cada uno de sus componentes que puedan afectar dicho ensamble, así como el tiempo estimado requerido para incorporar la parte; por tanto, la expresión matemática que permite calcular la eficiencia se muestra en la ecuación (1.12)

$$n = \frac{N t}{t_{tot}} \quad (1.12)$$

Dónde:

- N = Número de partes [adimensional].
- t_{tot} = tiempo total de ensamble [s].
- t = tiempo de ensamble ideal de una parte pequeña que no presenta dificultades en el manejo, orientación o ensamble y comúnmente se considera como tres segundos. [s].

Debe observarse, que en general los productos que necesitan ser rediseñados para facilitar el ensamble tienen una eficiencia de ensamble de alrededor de 5 % a 10 %, en tanto que las partes bien diseñadas poseen eficiencias de ensamble de alrededor de 25 %. Cabe destacar que, en la práctica, existen pocas probabilidades de obtener eficiencias de ensamble aproximadas al 100 % (Kalpakjian, 2008).

1.11.3 Complejidad del ensamble

La complejidad de un ensamble está relacionada con el número y las relaciones entre los elementos que intervienen en la determinación de una pieza, componente, producto o sistema (PRODINTEC, 2016). Tiene por objetivos la disminución del número de piezas a fabricar,

disminución del número de interfaces y disminución del número de uniones y enlaces. Su representación matemática se describe en la ecuación 1.13 (Pahl G & Beitz W, 1995) (Niebles Núñez. Et. Al, 2009).

$$C_f = \sqrt[3]{N_p N_t N_i} \quad (1.13)$$

Dónde:

N_p = Número de partes.

N_t = Número de partes funcionales.

N_i = Número de interfaces.

Esta se divide en dos dependiendo de la complejidad de la pieza o del montaje y se explica como sigue:

- Complejidad de piezas y componentes: Una pieza es tanto más compleja como más complicada es su forma y más difícil su conformación. En su evaluación intervienen el tipo de operaciones de conformación, el número de cotas distintas y su grado de precisión.
- Complejidad de un montaje: Es tanto más complejo como mayor es el número de piezas y componentes, mayor su diversidad, y mayor su número de interfaces.

1.12 investigaciones y diseños de equipos de laminación

A continuación, se muestran estudios sobre laminación, así como sus objetivos y resultados obtenidos:

La escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito en 2008 realizó una guía para el desarrollo de prácticas de laminación plana que consiste en el resultado del proceso y sus variables, para ello, utilizó una máquina laminadora que consta de dos rodillos laminadores, motor eléctrico de 1,2 HP y 1800 RPM. Los resultados obtenidos fueron el espesor y el ancho de la placa en cada pasada, la potencia, presión y corriente consumida en el sistema.

* Mary Torres, et.al. (2006) realizaron un ensayo sobre estimación de resistencia a la fluencia después del laminado en frío para acero AISI 1040 y cobre recocido, con el fin de corregir discrepancias entre los valores calculados y los experimentados. Para ello utilizaron una laminadora STANAT modelo A270. Se calcularon las propiedades de los materiales a partir de un diagrama esfuerzo-deformación obtenido a partir de ensayos de tensión. Se tuvo como resultado que los valores de la resistencia a la fluencia obtenidos de las ecuaciones de Hollomon son mayores que los obtenidos experimentalmente.

* Schindler, et.al (2007) realizaron un estudio sobre el efecto del laminado en frío en las propiedades mecánicas de un acero de alta resistencia y baja aleación QStE420. Para ello utilizaron una laminadora Housingless Q110. Se evaluó el comportamiento de la microestructura del acero en función de cambios en propiedades como dureza, resistencia y ductilidad. Se determinó que un aumento del porcentaje de deformación afecta las propiedades de resistencia de manera lenta por lo que se sugieren varios modelos de optimización de tratamientos térmicos para mejorar las propiedades luego de la laminación.

* Chaparro y Paternina (2009) realizaron el diseño y la construcción de un mecanismo para la elaboración de moldes para rosquetes. El mecanismo consistió en una banda transportadora que suministraba masa de pan a dos rodillos laminadores, los que a su vez laminaban y troquelaban la masa mediante figuras ovaladas en la superficie del rodillo. Los resultados obtenidos fueron el diseño del mecanismo que permitió a la empresa panadera Pinto en la ciudad de Bucaramanga-Colombia tecnificar y optimizar su sistema de producción de rosquetes, garantizando un moldeo satisfactorio; evitando la manipulación manual del operario, lo que permitió ahorro en costos y tiempo.

* Figueroa y Sánchez (2010) realizaron el diseño y la construcción de una laminadora de masa de pan para la producción de hojaldre en la empresa Sal & Dulce en la ciudad de Quito en Ecuador. El diseño consistió en una laminadora capaz de laminar 5 kg de masa de pan. Los rodillos se calcularon excéntricos inclinados a un ángulo entre 18 y 30° esto con el fin de obtener mejores resultados en la textura de la masa y no exponer al operario. Para el accionamiento del tren de laminación se seleccionó un sistema de transmisión por cadena acoplada a un motor reductor monofásico de 110 V y $\frac{3}{4}$ HP. Los resultados obtenidos para esta investigación fue la optimización de la línea de producción de la empresa panadera Sal & Dulce, mejoras en la relación tiempo – costo y tecnificación del proceso.

* Benítez et. al. (2004) realizaron un proyecto que consistió en el diseño de una laminadora de masa para la industria panificadora, con capacidad de laminación de 10 kg de masa en cada ciclo, abastecida por una banda transportadora. Contaba con un motor monofásico de CA DE 127 V a 60 Hz por lo que fue necesario el diseño de un motor reductor constituido por cadena – piñón y

banda. Como resultados del proyecto, obtuvieron un equipo de bajo costo y fácil de manejo, el cual facilitó las actividades en la industria panificadora y optimizar sus procesos productivos.

* Wang, et. al. (2006) realizaron una investigación que consistió en el análisis y control de la fuerza de empuje causada por el trabajo producido por los rodillos y el espacio de laminación, para ello se realizó estudios sobre el vector de desplazamiento relativo iterando su comportamiento y comparando los datos teóricos con los experimentales. Utilizaron un molino de laminación de cuatro rodillos, dos de trabajo y dos de soporte con el fin de disminuir la fuerza de trabajo. Concluyeron que la fuerza de empuje se controlaba disminuyendo el vector de velocidad relativa, una fuerza de empuje muy grande afecta los cojinetes causando falla por fatiga y defectos en la cinta laminada. Adicionalmente, si se controla la carga de empuje la fuerza de trabajo en los rodillos puede reducirse de manera significativa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cumplimiento de este proyecto se desarrollaron las siguientes actividades:

2.1 Identificación de parámetros y componentes utilizados para el diseño del equipo de laminación de rosca.

La figura 2.1 muestra esquemáticamente el equipo de laminación de roscas de trabajo en frío para aluminio diseñado en este trabajo bajo los lineamientos de la metodología para manufactura y ensamble DFMA; la cual permitió el desarrollo de un diseño simple y de fácil ensamble. Los

componentes fueron diseñados buscando reducir su cantidad en el equipo, se utilizaron partes comunes y simétricas buscando parametrizar las piezas, mejorando así su forma y tamaño.



Figura 2.1 - Esquema del equipo de laminación de rosca de trabajo en frío para aluminio diseñado bajo los lineamientos de la metodología para manufactura y ensamble DFMA
Fuente: AUTOCAD 2016 ®

La tabla 2.1 relaciona los parámetros y componentes iniciales empleados para el diseño y construcción del equipo. Estos parámetros y componentes se establecieron de acuerdo a ensayos o cálculos preliminares, recomendaciones de expertos, literatura o criterio propio de los diseñadores.

Tabla 2.1 Parámetros (P) y componentes (C) iniciales utilizados para el diseño del equipo de laminación de roscas

Ítem	Descripción	P	C	Valor numérico	Criterio de Selección
1	Diámetro máximo a laminar	X		12,7 mm	Diseñadores

2	Paso de la rosca	X		1.5 mm	Cálculo preliminar
3	Potencia entregada motor reductor		X	1 HP	Catálogo de referencia
4	Potencia necesaria proceso de laminado	X		0,75 HP	Cálculo preliminar
5	Material probetas	X		Aluminio	Recomendación experto
6	Material rodillos		X	Acero AISI 1045 CD	Diseñadores
7	Material del chasis		X	Acero ASTM A36	Diseñadores
8	Esfuerzo de fluencia del material a ensayar	X		138 MPa	Ensayo tensión norma ASTM E8M
9	Numero de rodillos		X	Dual (2)	Diseñadores
10	Disposición de los rodillos		X	Horizontal	Literatura
11	Diámetro del rodillo	X		100 mm	Cálculo preliminar
12	Coeficiente de fricción	X		$\mu=0,2$	Literatura
13	Velocidad del proceso de laminado	X		100 RPM	Cálculo preliminar
14	Fuerza de laminación aumentada 15%	X		16.037,9 N	Cálculo preliminar
15	Sistema de transmisión de movimiento		X	Piñón – cadena	Recomendación experto
16	Suministro de potencia al sistema		X	Banco hidráulico y motor eléctrico	Diseñadores

Fuente: Propia de los autores

En este trabajo los componentes, los cálculos preliminares y pruebas se realizaron para determinar la capacidad del equipo, verificando que el trabajo realizado estuviera dentro de los rangos de diseño del banco, motor hidráulico y motor eléctrico.

2.1.1 Diseño del equipo laminador

➤ Sistema de transmisión.

El sistema de transmisión está constituido por un motoreductor que brinda la entrada de movimiento al sistema, al piñón conectado al eje del motoreductor, cadena, piñones de los rodillos y eje de los rodillos. El motoreductor entrega una velocidad de 165 RPM, por tanto, fue necesario realizar reducciones de velocidad para alcanzar una velocidad aproximada de 100 RPM definida para el proceso de laminado. Esta reducción se hizo utilizando un reductor, La selección comenzó con la determinación de la cadena la cual ingresando la potencia del proceso de laminado de 0,75 HP a una velocidad de giro de 100 RPM en la tabla de capacidad cadena estándar sencilla de rodillos No 60 paso $\frac{3}{4}$ " (INTERMEC, 2010). La cadena seleccionada se utilizó acorde a los lineamientos de la metodología DFMA en donde se busca homogenizar los elementos del montaje. A continuación del catálogo comercial se seleccionó la piñonería y Para la fase final se utilizaron 2 piñones que permiten el giro de los rodillos y otro piñón conductor. Esta selección se realizó mediante el uso de los datos suministrados en la tabla de capacidad cadena estándar sencilla de rodillos No 60 paso $\frac{3}{4}$ " (INTERMEC, 2010) y en la tabla de dimensiones de los piñones paso $\frac{3}{4}$ " (INTERMEC, 2010). En la primera tabla se ingresaron los valores de RPM del piñón conductor, potencia a suministrar y se seleccionó el número de dientes. En la segunda tabla se ingresó con el número de dientes y se determinaron las dimensiones del piñón. Para la fase final los piñones de los rodillos fueron seleccionados teniendo en cuenta la máxima abertura en el tren de laminado de 13 mm esto para evitar tensionar demasiado la cadena.

Luego de realizar la selección de la cadena y la piñonería, la longitud de paso y la distancia entre centros de la cadena se calcularon usando las ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3. (Budynas & Nisbett 2012) y los datos suministrados por el catálogo comercial (INTERMEC, 2010).

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 \left(\frac{C}{p}\right)} \quad (2.1)$$

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p} \quad (2.2)$$

$$C = \frac{p}{4} \left(-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N_2 - N_1}{2\pi} \right)^2} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

L/P = Longitud de paso [adimensional].

C = Distancia entre centro [mm].

N_1 = Número de dientes piñón [adimensional].

N_2 = Número de dientes rueda [adimensional].

p = Paso de la cadena [mm].

Después de la selección de la cadena y la piñonearía se diseñaron los ejes los cuales soportan la carga del rodillo, la carga producida por la cadena en la transmisión de potencia Y la carga producida por el proceso de laminado Los ejes se fabricaron en acero AISI 1045 CD, cuya composición química y algunas propiedades mecánicas se relacionan la figura 2.2.



**CORPORACION
ACEROS AREQUIPA S.A.**

Panamericana Sur Km. 241 - Pisco Telfs.: 034-532967 / 532968 Fax.: 034-532971

47/1245

CERTIFICADO DE CALIDAD

N° 1189386

PRODUCTO : BARRAS REDONDAS CALIBRADAS

PLANTA : PLANTA DE PISCO

CLIENTE : COMPANIA GENERAL DE ACEROS SA

NORMA TECNICA : SAE 1045

NORMA DE ENSAYO TRACCION : ASTM E8

FACTURA N° 020-0760452

DIMENSION NOMINAL	N° DE COLADA	COMPOSICION QUIMICA (*)										LIMITE DE FLUENCIA kg/mm²	RESIST. TRACCION kg/mm²	ALARGAM. EN 200 mm %
		C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	Sn (%)			
5/8"	238239	0.47	0.80	0.19	0.01	0.03	0.05	0.04	0.01	0.14	0.016	76.5	87.2	5.0
3/4"	238409	0.45	0.79	0.18	0.02	0.02	0.07	0.04	0.01	0.13	0.015	84.9	89.2	6.0
7/8"	242008	0.47	0.82	0.19	0.01	0.02	0.07	0.04	0.01	0.10	0.015	81.8	89.2	9.0
1"	232681	0.45	0.82	0.19	0.02	0.02	0.07	0.05	0.01	0.11	0.027	82.5	88.8	4.5
1 1/8"	230762	0.44	0.81	0.20	0.02	0.02	0.08	0.06	0.01	0.15	0.026	86.4	89.7	10.0 (**)
1 1/4"	236667	0.45	0.78	0.17	0.01	0.02	0.07	0.04	0.01	0.09	0.013	79.1	83.1	8.0
2"	242903	0.46	0.80	0.19	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00	0.05	0.008	76.5	78.0	14.9 (**)
2 1/4"	231384	0.46	0.79	0.20	0.02	0.02	0.05	0.04	0.01	0.08	0.023	80.2	82.5	18.5 (**)
3"	243383	0.45	0.80	0.18	0.01	0.02	0.05	0.04	0.01	0.09	0.014	73.5	76.2	13.1 (**)

(*) Analisis en la Cuchara.

(**) Probeta mecanizada según ASTM A370 Table A1.1; Alargamiento en 50mm.



Cia. General de Aceros S.A.

2 - 02799

C.C. _____

CORPORACION ACEROS AREQUIPA S.A.

Granado

Ing. Ulises Granados Rojas
SUPERINTENDENTE DE METALURGIA

PISCO, 2013 - 12 - 04

CODIGO: 00000000 - REVISION: 01 - APROBADO: VGR - FECHA: 09/2012

Figura 2.2 - Composición química y propiedades mecánicas del acero AISI 1045 CD
Fuente: comercializadora TIR

Las propiedades mecánicas del material fueron complementadas con las descritas en la literatura de CIA. GENERAL DE ACEROS S.A y se muestran en la figura 2.3.

Temperatura de revenido °C	Resistencia a la tracción MPa	Punto de Fluencia MPa	Elongación (en 50 mm) %	Reducción de área %	Dureza Brinell (3000 Kg.)
320	965	655	11	34	278
430	875	621	15	39	257
540	793	558	18	45	228
650	703	482	23	51	203
705	641	462	25	55	195

Figura 2.3 - Propiedades mecánicas del acero AISI 1045 CD
Fuente: CIA. GENERAL DE ACEROS S.A

Todas las fuerzas que actúan sobre los ejes se determinaron mediante un análisis estático a partir de diagramas de cuerpo libre, de esfuerzo cortante y de momento flector acorde al método relación entre la carga, el cortante y el momento flector (Beer & Johnston 2009). Una vez hechos estos parámetros estáticos, se determinó el diámetro del eje, esto lo hicimos utilizando el criterio de diseño Goodman, (2.4), previamente hallando los factores de Marín ($k_a, k_b..k_n$) para el cálculo de la resistencia a la fatiga S_e , el momento alternante Ma obtenido en el análisis estático, torque medio Tm que depende de la transmisión de la cadena seleccionada y el factor de seguridad n cuyo valor es seleccionado a criterio de los diseñadores y los factores de esfuerzo por fatiga y torsión $K_f - K_{fs}$.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(K_f M_a)^2}{S_e} + \frac{3(K_{fs} T_m)^2}{S_u} \right)^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (2.4)$$

Donde:

d = Diámetro del eje [mm].

n = Factor de seguridad [adimensional].

Kf = Factor de esfuerzo por fatiga [adimensional].

Kfs = Factor de esfuerzo por torsión [adimensional].

Ma = Momento alternante [N mm].

Tm = Torque medio [N mm].

Se = Límite de resistencia a la fatiga [MPa].

Sut = Esfuerzo último del material [MPa].

Se realizaron dos iteraciones del diámetro mediante las condiciones propuestas por el método de GOODMAN y se escogió un diámetro comercial para los ejes de transmisión. Por último, se analizó el estado de esfuerzo en los ejes calculando el esfuerzo normal y cortante máximo respectivamente, utilizando las ecuaciones (2.5) y (2.6) (Budynas & Nisbett 2012). Finalmente se verificó que los valores obtenidos no superaran el esfuerzo de fluencia del acero AISI 1045 CD.

$$\sigma = \frac{M_{max} * C}{I} \quad (2.5)$$

Dónde:

σ = Esfuerzo normal [MPa].

M = Momento flector [N mm]

C = Centroide [mm]

I = Momento de inercia [mm⁴]

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad (2.6)$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante máximo [MPa].

V = Momento cortante [N mm].

A = Área [mm²].

Luego de haber determinado el diámetro de los ejes procedimos con el cálculo de las cuñas, estas deben ser fabricadas con un material de propiedades mecánicas inferiores a las del material del eje, para esto seleccionamos un acero AISI 1020 CD, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la figura 2.4.

PROPIEDADES MECÁNICAS					
Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

Figura 2.4 - Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 CD
Fuente: CIA. GENERAL DE ACEROS S.A

La fuerza que debe suministrar la cuña para brindar el movimiento se determinó a partir del torque generado por la cadena. Posteriormente, se estudiaron las posibles fallas que podría sufrir el elemento bajo los esfuerzos a los que están sometidos los ejes; mediante la ecuación (2.9) que corresponde al método de energía de distorsión descrito en la literatura (Budynas & Nisbett

2012). De la tabla cuñeros y cuñas del catálogo comercial (INTERMEC, 2010) y tomando como referencia el diámetro del eje se determinó el tipo de cuña a utilizar:

$$S_{sy} = 0,577 S_y \quad (2.9)$$

Dónde:

S_{SY} = Ecuación de energía de distorsión.

S_y = esfuerzo de fluencia del material.

Habiendo obtenido el método de distorsión de la energía y utilizando el criterio de VON MISES como criterio de falla se determinó la longitud necesaria para evitar la falla por aplastamiento o pro corte con las ecuaciones (2.10) y (2.11) respectivamente.

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$

Donde

S_{sy} . =Criterio de la energía de distorsión

n = Factor de seguridad.

A = W (ancho) x L (longitud).

F = Fuerza en la cuña.

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{2A} \quad (2.11)$$

Por último, se verificó que la longitud de la cuña no exceda 1,5 veces el diámetro del eje.

Se realizó la selección de los rodamientos para cada uno de ellos en las distintas fases. Analizando las reacciones en los apoyos obtenidos en los estudios estáticos se calculó la carga de diseño deseada teniendo en cuenta los factores que afectan el diseño de cojinetes como la velocidad de giro y la vida nominal del cojinete, esta última está dada por:

Vida nominal = 400 Horas de trabajo, lo que equivaldría en la vida del cojinete a un estimado de trabajo (8 horas al día) X (2 semanas o 10 días hábiles) X (5 semestres)

Los datos suministrados de vida nominal para los rodamientos son criterios propios de los diseñadores.

La selección se realizó siguiendo los parámetros y constantes de un catálogo comercial para soporte de pie con rodamientos de bolas (SKF, 2020) (Chumacera), los valores de la mayor reacción que soporta el eje y la vida nominal del cojinete, estos parámetros fueron introducidos en las ecuaciones (2.12) y (2.13) arrojando como resultado el cálculo de la carga nominal de catálogo C10. Los rodamientos fueron seleccionados bajo los criterios de carga mayor a la carga de catálogo, diámetro del eje, el diámetro interior del cojinete, ajuste y tolerancia, estos dos últimos acordes a lo sugerido en la literatura de Jensen, C. et. al. (2004).

$$X_D = \frac{L}{L_{10}} = \frac{60L_D n_D}{60L_R n_R} \quad (2.12)$$

Dónde:

X_D = Carga nominal [adimensional].

$L_{10} = 60 L_R n_R$ = Numero de ciclos = 106 ciclos.

L_D = Horas de vida del rodamiento [minutos].

n_R = RPM de trabajo [Rev./min].

$$C_{10} = F_D \left[\frac{X_D}{X_0 + (\theta - X_0)(1 - R_D)^{\frac{1}{b}}} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (2.13)$$

Dónde:

C_{10} = Carga de catálogo [MPa].

F_D = Fuerza en el apoyo [N].

X_D = Carga nominal [adimensional].

$X_0 = \theta = b = a$ = Variables del fabricante especificado en su catálogo de productos

R_D = Confiabilidad [adimensional].

2.2 Desarrollo de la metodología DFMA en la etapa de diseño usando la herramienta de diseño Solidworks®

Se diseñó un esquema del equipo estableciendo la forma y dimensiones en el software SolidWorks® 2016 acorde a criterios de los diseñadores, realizando un ensamble preliminar fueron analizados el número de partes, piezas, tipos de uniones o sujeciones haciendo mejoras

en la etapa de diseño. Posteriormente, se realizó un análisis estático de la placa lateral, la guía de los rodillos, el rodillo de laminado estudiando el comportamiento de los componentes frente a los esfuerzos a los que están sometidos bajo las condiciones de diseño establecidas, debido a que ellos soportan las cargas producidas en el proceso. Usando el criterio de Von Mises se verificó que los materiales, dimensiones y formas de los elementos no superaron el límite de fluencia, buscando así un factor de seguridad acorde a los parámetros establecidos en la etapa de diseño, Adicionalmente para el rodillo fue analizada la deflexión que producen las cargas. Los datos obtenidos fueron mostrados a través de imágenes y escalas suministrados por SolidWorks.

Los estudios estáticos fueron realizados utilizando un enmallado sólido tipo estándar, se aplicó la calidad de la malla mediante el método de elementos cuadráticos de alto orden y un solver FFEPlus, se definió el sistema de unidades como métrico (MKS). Para la placa lateral se usó el material como acero ASTM A36, la sujeción fue establecida en el contacto entre esta y la mesa soporte a través de 4 tornillos y arandelas, las fuerzas actuantes se presentan en la cavidad del rodamiento de la fase de transmisión en donde la cadena ejerce una fuerza de 887,9 N radial al plano de la placa y 2230,4 N. adicionalmente actúan las componentes de la fuerza de laminado 14591 N radial, 3015 N tangencial y el peso del rodillo 33,13 N. Luego, Por último, para el rodillo se definió el material como acero AISI 1045 CD, las sujeciones se establecieron en los apoyos de los rodamientos, las fuerzas actuantes se presentaron en la rueda impulsada con un valor de 2330,4 N a 3615,4 N radial al plano del elemento ejercida por la fase final, la carga de la fuerza de laminado 712,42 N/mm radial distribuida y 133,34 N/mm tangencial y el peso del elemento. Se analizaron los datos obtenidos.

La metodología para la manufactura y ensamble DFMA fue desarrollada describiendo el diseño conceptual y funcional del equipo. Una vez definidos los conceptos y funciones se determinó el número de partes y piezas usando el ensamble en el software SolidWorks. Del mismo modo, se determinó el tipo de unión, las interfaces (contacto entre piezas en el ensamble), partes funcionales y fijas. Se calculó el tiempo de ensamble total y por pieza requerido en el montaje y se tabularon los resultados. Por último, fue calculada la eficiencia y la complejidad del ensamble mediante el uso de las ecuaciones 1.12 y 1.13.

2.3 Construcción y validación del equipode laminación de acuerdo a los parámetros establecidos en la etapa de diseño

El proceso de construcción de este proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de materiales y procesos del programa de ingeniería mecánica de la universidad de córdoba y el taller granja industrial. En la construcción se desarrollaron procesos de manufactura como corte, pulido, taladrado, limado, torneado, fresado, soldadura SMAW – GTAW, entre otros. Para lo cual, fueron utilizadas las herramientas y maquinaria descrita en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 - Herramientas y maquinaria utilizada para la construcción del equipo

Herramientas y maquinaria utilizada en la construcción del equipo	
Ítem	Descripción
1	Pantógrafo CNC para cortes con plasma/oxicorte
2	Torno
3	Fresadora
4	Equipo de soldadura SMAW – GTAW
5	Taladro de pedestal
6	Taladro percutor
7	Tronzadora
8	Pulidora
9	Equipo de oxicorte
10	Mototool
11	Herramientas de mano

Fuente: Propia de Autores

2.3.1 Validación

Para la validación del equipo de laminación de roscas se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

➤ **Ensayos de funcionamiento**

Se realizaron ensayos de verificación del correcto funcionamiento del equipo, se verificó que no hubiese vibraciones, desalineamientos, componentes no sujetos, fugas de aceite tanto en el motoreductor como en los componentes del banco hidráulico, lubricación de componentes adecuada, velocidad de operación de los ejes.



Figura 2.5 - Aluminio reciclado utilizado para fundición de probetas
Fuente: Propia de autores

Esta fundición fue desarrollada en el laboratorio de materiales y procesos de programa de ingeniería mecánica de la universidad de Córdoba, en un horno de crisol móvil como lo muestra la figura 2.6.



Figura 2.6 - Horno de crisol móvil para fundición
Fuente: Propia de autores

Se elaboraron 6 probetas con dimensiones de 12 mm y 10 mm de diámetro, 100 mm de largo para los ensayos en el equipo de laminación. Posteriormente, para determinar el esfuerzo de fluencia de la fundición se tomaron 3 probetas y se realizaron ensayos de tensión bajo norma ASTM E8M en la maquina universal MTS con capacidad nominal de 300 KN del laboratorio de materiales y procesos del programa de ingeniería mecánica de la universidad de Córdoba. El valor del esfuerzo de fluencia se utilizó para verificar que el esfuerzo del aluminio fundido estuviera por debajo del esfuerzo de fluencia utilizado para el diseño de la máquina laminadora de rosca.

Como criterio de validación, se estableció que el equipo debe realizar el proceso de laminado formando el roscado en toda la sección expuesta al rodillo, luego esta se procede a roscar en una tuerca y se comprueba que la rosca cumpla con las dimensiones (diámetro exterior, profundidad de la rosca, paso, acabo superficial) adicionalmente, se estableció como criterio de validación una diferencia del 10 % de la fuerza experimental respecto a la fuerza teórica. Por último, se realizó un manual de operaciones anexo A2 que detalla las funciones, pasos secuenciales para puesta en marcha, forma correcta de operación, realización de ensayos con probetas, medidas de seguridad y recomendaciones de uso, Adicionalmente se realizó la ficha técnica del equipo, manual de mantenimiento y planos del equipo anexos A3, A1, A4 respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUCIONES

3.1 Diseño y selección de componentes

3.1.1 Selección de la cadena

La cadena fue seleccionada de la tabla de capacidad cadena estándar sencilla de rodillos No 60 paso $\frac{3}{4}$ " (INTERMEC, 2010) como se muestra en la figura 3.1. Se seleccionó teniendo en cuenta que la máxima abertura del tren de lamiando es de 13 mm e ingresando a la tabla con la potencia del proceso de laminado de 0,75 HP a una velocidad de giro de 100 RPM.

TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 60 PASO 3/4"

No. de dientes en el piñón conductor	RPM DEL PIÑÓN CONDUCTOR																									
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500	
9	0.15	0.33	0.68	1.18	1.67	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	10.77	11.55	12.30	13.05	13.77	14.49	15.21	15.92	16.63	17.34	18.05
10	0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.49	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.38	10.3	11.2	12.03	12.85	13.67	14.48	15.27	16.05	16.83	17.60	18.37	19.14	19.91
11	0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.69	3.67	4.70	5.69	6.65	7.59	8.51	9.42	10.3	11.18	12.05	12.91	13.76	14.60	15.43	16.25	17.06	17.87	18.67	19.47	20.26
12	0.20	0.45	0.85	1.58	2.26	2.95	3.93	4.95	5.93	6.89	7.84	8.77	9.68	10.57	11.44	12.30	13.15	13.99	14.82	15.64	16.45	17.25	18.05	18.84	19.63	20.41
13	0.22	0.50	0.93	1.73	2.49	3.28	4.26	5.28	6.25	7.20	8.14	9.06	9.97	10.87	11.75	12.61	13.46	14.30	15.13	15.95	16.76	17.56	18.35	19.14	19.92	20.70
14	0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.49	4.47	5.49	6.45	7.40	8.34	9.26	10.17	11.07	11.95	12.81	13.66	14.50	15.33	16.15	16.96	17.76	18.55	19.34	20.12	20.90
15	0.26	0.58	1.08	2.01	2.83	3.78	4.76	5.78	6.74	7.69	8.63	9.56	10.48	11.39	12.29	13.17	14.04	14.91	15.77	16.62	17.46	18.29	19.12	19.94	20.76	21.58
16	0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.01	6.02	7.00	7.97	8.94	9.90	10.85	11.79	12.72	13.64	14.55	15.46	16.36	17.25	18.13	19.01	19.89	20.76	21.64	22.51
17	0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	5.28	6.29	7.28	8.26	9.24	10.21	11.17	12.12	13.06	14.00	14.93	15.86	16.78	17.69	18.60	19.50	20.40	21.30	22.20	23.09
18	0.31	0.70	1.31	2.46	3.53	4.58	5.59	6.59	7.58	8.57	9.56	10.54	11.52	12.49	13.46	14.43	15.39	16.35	17.30	18.25	19.20	20.15	21.10	22.05	23.00	23.95
19	0.33	0.75	1.39	2.60	3.74	4.85	5.88	6.90	7.91	8.92	9.93	10.94	11.94	12.94	13.94	14.93	15.92	16.91	17.90	18.88	19.86	20.84	21.82	22.80	23.78	24.76
20	0.35	0.79	1.47	2.75	3.96	5.13	6.17	7.20	8.22	9.24	10.26	11.27	12.28	13.28	14.28	15.27	16.26	17.25	18.23	19.21	20.19	21.17	22.15	23.13	24.11	25.09
21	0.36	0.82	1.55	2.90	4.17	5.40	6.45	7.49	8.52	9.55	10.57	11.59	12.60	13.61	14.61	15.61	16.60	17.59	18.57	19.55	20.53	21.51	22.49	23.47	24.45	25.43
22	0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	6.73	7.78	8.82	9.85	10.88	11.90	12.91	13.92	14.92	15.92	16.91	17.90	18.88	19.86	20.84	21.82	22.80	23.78	24.76	25.74
23	0.40	0.92	1.7	3.19	4.60	5.96	7.03	8.09	9.14	10.18	11.21	12.24	13.26	14.27	15.27	16.26	17.25	18.23	19.21	20.19	21.17	22.15	23.13	24.11	25.09	26.07
24	0.42	0.96	1.79	3.35	4.82	6.24	7.32	8.39	9.46	10.52	11.57	12.61	13.64	14.66	15.67	16.66	17.65	18.63	19.61	20.59	21.57	22.55	23.53	24.51	25.49	26.47
25	0.44	1.00	1.87	3.50	5.04	6.52	7.61	8.69	9.76	10.82	11.87	12.91	13.94	14.96	15.97	16.96	17.95	18.93	19.91	20.89	21.87	22.85	23.83	24.81	25.79	26.77
26	0.46	1.05	1.95	3.65	5.25	6.81	7.91	9.00	10.08	11.15	12.21	13.26	14.30	15.33	16.35	17.36	18.36	19.35	20.33	21.31	22.29	23.27	24.25	25.23	26.21	27.19
28	0.50	1.13	2.12	3.95	5.69	7.37	8.48	9.58	10.68	11.77	12.85	13.92	15.00	16.07	17.13	18.19	19.24	20.29	21.33	22.37	23.41	24.45	25.49	26.53	27.57	28.61
30	0.54	1.22	2.25	4.20	6.13	7.94	9.14	10.34	11.54	12.73	13.92	15.11	16.29	17.47	18.65	19.82	20.99	22.16	23.33	24.50	25.67	26.84	28.01	29.18	30.35	31.52
32	0.57	1.31	2.45	4.50	6.57	8.38	9.59	10.79	12.00	13.20	14.40	15.60	16.79	17.98	19.17	20.36	21.54	22.73	23.91	25.10	26.28	27.46	28.64	29.82	31.00	32.18
35	0.63	1.44	2.69	5.03	7.24	9.36	10.57	11.77	12.97	14.17	15.37	16.56	17.75	18.94	20.13	21.32	22.51	23.70	24.89	26.08	27.27	28.46	29.65	30.84	32.03	33.22
40	0.73	1.67	3.11	5.81	8.37	10.8	12.01	13.21	14.41	15.61	16.81	18.00	19.19	20.38	21.57	22.76	23.95	25.14	26.33	27.52	28.71	29.90	31.09	32.28	33.47	34.66
45	0.83	1.89	3.53	6.60	9.50	12.3	13.51	14.71	15.91	17.10	18.30	19.49	20.68	21.87	23.06	24.25	25.44	26.63	27.82	29.01	30.20	31.39	32.58	33.77	34.96	36.15

Lubricación Tipo A : Aceite con jabón o brocha
 Lubricación Tipo B : En la zona de arriba o por debajo
 Lubricación Tipo C : Al centro del piñón

La información contenida en estas tablas está basada en las estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)

*Para velocidades comprendidas dentro de la zona entre rayas punteadas, considérese el uso de la cadena silenciosa a Morse H y V.

Cuando se trata de cadenas de fibra múltiple de esta clase, multiplique por la capacidad por:		
Nº DE HILERAS	FACTOR	Nº DE HILERAS
a	1.7	5
b	2.5	6
c	3.3	7

Figura 3.1 Tabla de capacidad cadena estándar sencilla de rodillos No 60 paso 3/4”
Fuente: (INTERMEC, 2010)

La cadena fue seleccionada No 60 paso 3/4” tipo B con un piñón conductor de 13 dientes, numero de hileras 1 y lubricación tipo A con brocha o aceitera debido a las conjeturas mostrados en la tabla 3.1. Los datos de la cadena son suministrados por el catalogo comercial (INTERMEC, 2010).

Tabla 3.1 - Datos de la cadena

N° cadena	Paso	N° de dientes piñón	Criterio de selección
3	60 Tipo B	3/4 in	Diámetro externo del piñón 88,6 mm. Cumple con la distancia entre centros diseñada de 114,3 mm

Fuente: (INTERMEC, 2010)

La cadena cumple con todos los parámetros establecidos en la fase de diseño y permite trabajar a bajas revoluciones garantizando la transmisión y la potencia necesaria para realizar el proceso de laminado. De igual modo, para las cargas y el tipo de trabajo realizado en el proceso la cadena responde a las necesidades.

3.1.2 Selección de la piñonearía en la fase de transmisión

La figura 3.2 muestra la tabla de dimensiones de los piñones paso 3/4” (INTERMEC, 2010) donde fueron seleccionados los piñones y sus características.

Referencia	No. Dientes	De	Dm	L	Eje estándar	Eje máximo	Diseño	Peso (lbs)	R	Dr
60B08	8	57,4	37	32	15,9	19	1R	0,24	8	27
60B09	9	63,8	40	32	19	22	1R	0,29	8	32
60B10	10	70,1	49	32	19	26	1R	0,42	8	37
60B11	11	76,3	52	32	19	32	1R	0,52	8	46
60B12	12	82,5	60	32	19	36	1R	0,68	8	51
60B13	13	88,7	60	32	19	42	1B	0,79		
60B14	14	94,9	65	32	19	45	1B	0,93		
60B15	15	101	73	32	19	51	1B	1,15		
60B16	16	107,2	78	32	19	55	1B	1,32		
60B17	17	113,3	82	32	19	57	1B	1,48		
60B18	18	119,5	89	32	19	62	1B	1,72		
60B19	19	125,6	89	32	19	62	1B	1,82		
60B20	20	131,7	98	32	19	69	1B	2,13		
60B21	21	137,8	102	32	19	71	1B	2,33		
60B22	22	143,9	102	32	19	71	1B	2,44		
60B23	23	150	102	32	19	71	1B	2,56		
60B24	24	156,1	102	32	19	71	1B	2,68		
60B25	25	162,2	102	32	19	71	1B	2,8		
60B26	26	168,3	102	32	19	71	1B	2,94		
60B27	27	174,4	102	32	19	71	1B	3,07		
60B28	28	180,5	102	32	19	71	1B	3,22		
60B29	29	186,6	102	32	19	71	1B	3,36		
60B30	30	192,7	102	32	19	71	1B	3,52		

Figura 3.2 - Tabla de dimensiones de los piñones paso 3/4”
Fuente: (INTERMEC, 2010)

3.1.3 Diseño de los ejes de transmisión

➤ Diseño de los ejes

Los ejes de la maquina laminadora de rosca recibe una potencia (0.75 HP) a través de un sistema cadena – piñón, para realizar un análisis estático de los ejes debemos tener en cuenta que estos están sometidos por cargas distintas en planos diferentes, lo cual nos obliga hacer dos análisis estáticos en el plano xz y en el plano xy. Los resultados de momento, cortante y las reacciones en los puntos de apoyo se determinan mediante la combinación de planos ortogonales ecuación (3.0)

$$M_{max} = \sqrt{(M_y)^2 + (M_z)^2} \quad (3.0)$$

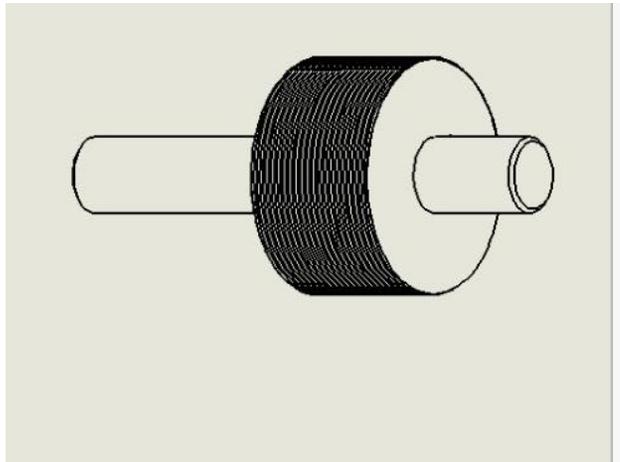


Figura 3.3 - Diseño eje primario
Fuente: SOLIDWORKS 2016

La figura 3.4 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo en el plano XZ las cargas ejercidas por la cadena se representa como P1 el peso del rodillo se representa como P2 la cual se encuentra en la tabla (3.2) y el valor de la componente tangencial distribuida de la fuerza de laminación como W1.

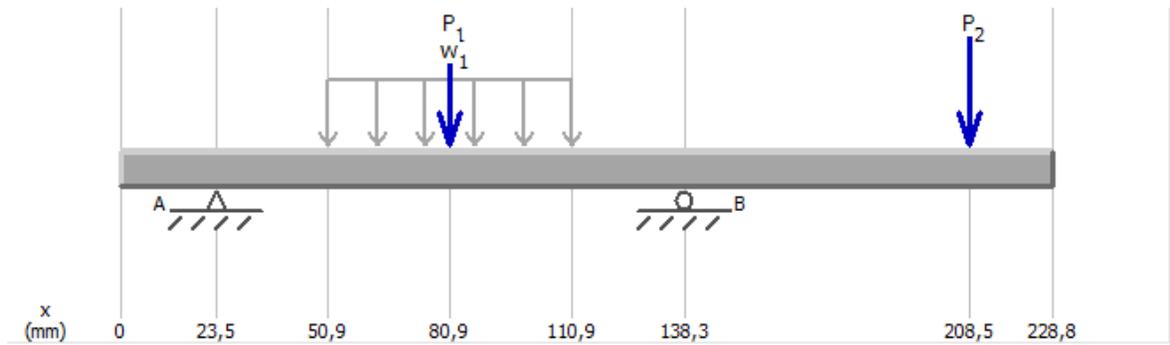


Figura 3.4 - Diagrama de cuerpo libre del eje primario
Fuente: MDSolid versión de prueba

Luego del análisis estático de la figura 3.4 se obtuvieron los valores en las reacciones en los puntos de apoyo en los cojinetes

$$p_1 = 33,17 \text{ N}$$

$$P_2 = 2120 \text{ N}$$

$$W_1 = 712,44 \text{ N/mm}$$

$$R_A = 20.093,41 \text{ N}$$

$$R_B = 24.806,16 \text{ N}$$

Tabla 3.2 - Especificaciones de las propiedades de los rodillos de laminación

ITEM	DESCRIPCION	VALOR NUMERICO	FORMULA
1	Peso específico de acero al carbono	$\gamma = 76,5 \text{ KN}/m^3$	
2	Área rodillo	$A = 788,25 \text{ mm}^2$	$A = \pi r^2$
3	Longitud del rodillo	$L = 60 \text{ mm}$	
4	Volumen del rodillo	$v = 438905,41 \text{ mm}^3$	$V = AL$
5	Peso del rodillo	$W = 33,13 \text{ N}$	$W = V\gamma$

Fuente: Budynas & Nisbett, 2012.

En la figuras En la figura (3.5) y (3.6) muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flector respectivamente, debido a las cargas ejercidas por la transmisión de potencia y las reacciones en el apoyo del eje en los cojinetes y su comportamiento frente a la carga en el plano XZ.

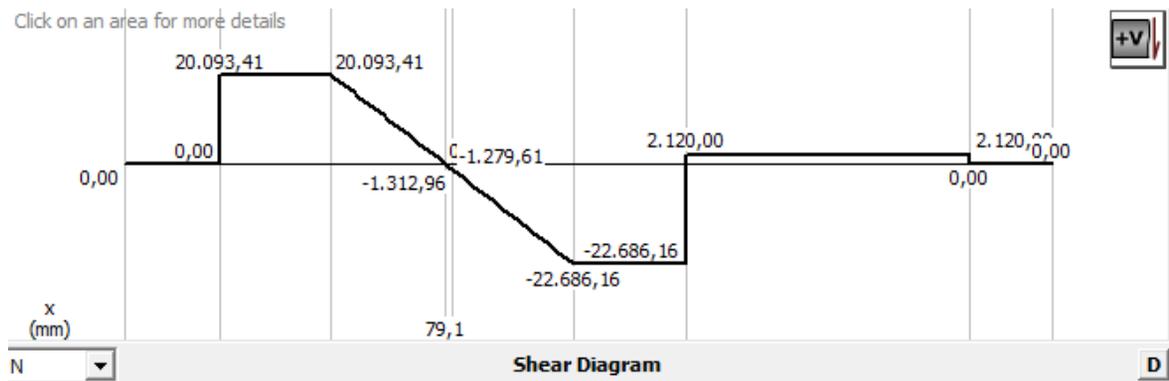


Figura 3.5 - Diagrama de esfuerzo cortante para el eje de los rodillos en el plano

Fuente: MDSolid versión de prueba

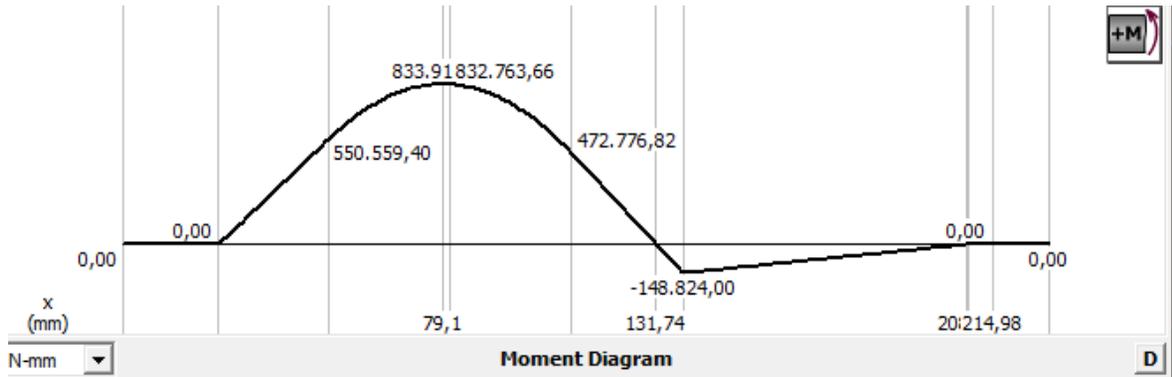


Figura 3.6 - Diagrama de momento flector para el eje de los rodillos en el plano
Fuente: MDSolid versión de prueba

Del análisis se tomaron los valores máximos en los diagramas obteniendo los valores mostrados:

- Esfuerzo cortante máximo $V = 22.686.16 \text{ N}$.
- Momento flector máximo $M = 833.918 \text{ N mm}$.

La figura (3.7) muestra el diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo en el plano XY el valor de la componente tangencial distribuida de la fuerza de laminación como W2.

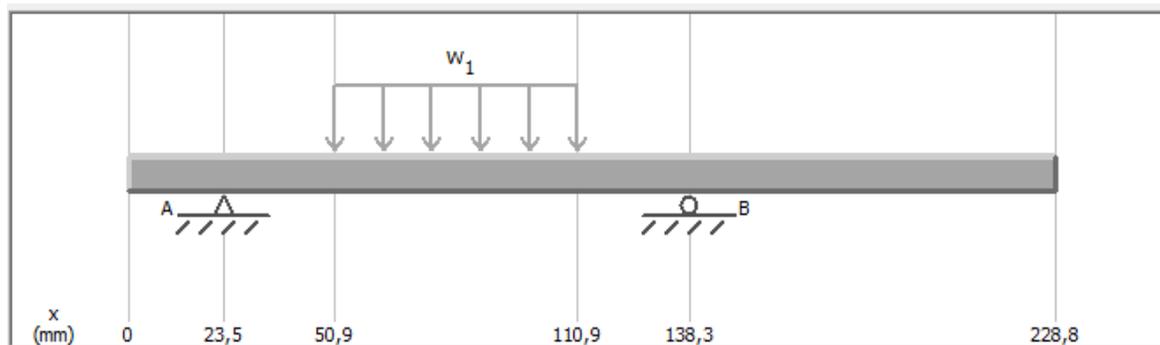


Figura 3.7 - Diagrama de cuerpo libre para el eje de los rodillos en el plano XY
Fuente: MDsolid versión de prueba

$$W_2 = 163,34 \text{ N/mm}$$

$$R_A = 3112,12 \text{ N}$$

$$R_B = 3118,75 \text{ N}$$

En las figuras En la figura (3.8) y (3.9) muestran los diagramas de fuerza cortante y momento flector respectivamente, de las reacciones en el apoyo del eje en los cojinetes y su comportamiento frente a la carga en el plano XZ

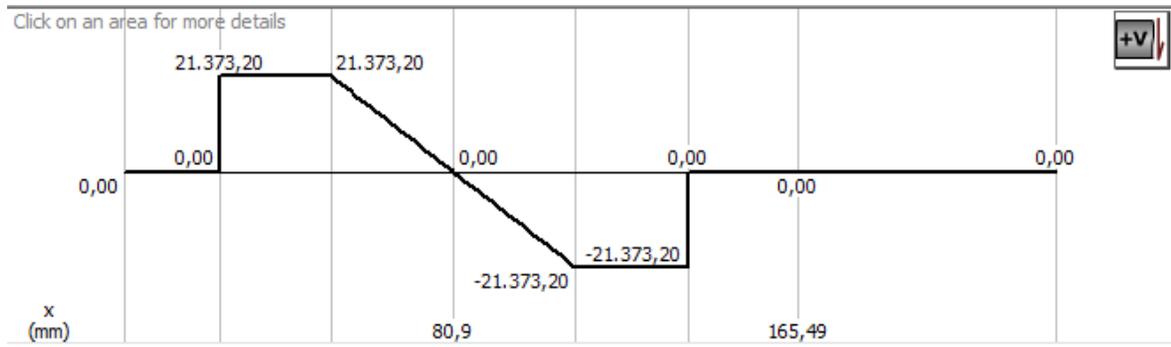


Figura 3.8 - Diagrama de esfuerzo cortante para el eje de los rodillos en el plano XZ
Fuente: MDsolid Versión de prueba

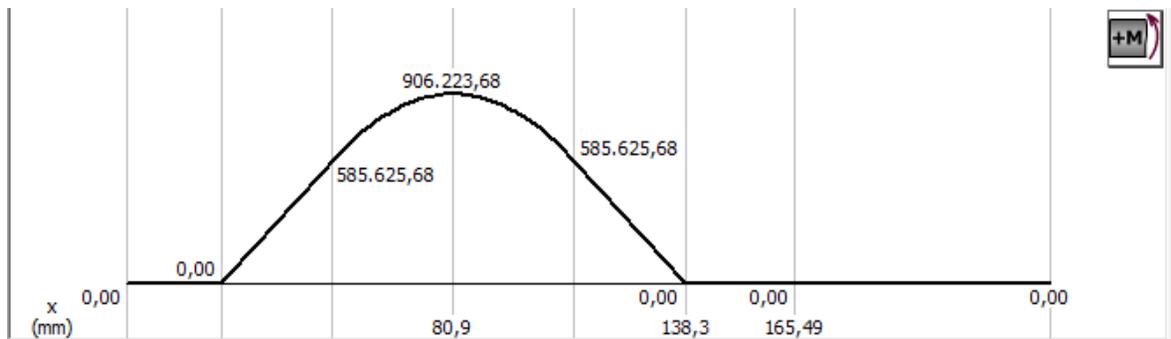


Figura 3.9 - Diagrama de momento flector para el eje de los rodillos en el plano XZ
Fuente: MDsolid Versión de prueba

Del análisis se tomaron los valores máximos en los diagramas obteniendo los valores mostrados:

- Esfuerzo cortante máximo $V = 21373,20 \text{ N}$.
- Momento flector máximo $M = 906.223 \text{ N mm}$.

Haciendo el uso de la ecuación tenemos que

$$M_{max} = \sqrt{(833.918 \text{ N mm.})^2 + (906.223 \text{ N mm.})^2}$$

$$M_{max} = 1231,52 \text{ N} * \text{mm}$$

$$V_{max} = \sqrt{(22.686 \text{ N.})^2 + (21373,20 \text{ N})^2}$$

$$V_{max} = 21373.21 \text{ N}$$

$$R_A = \sqrt{(20.093,41)^2 + (3112,12)^2}$$

$$R_A = 20332,98 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{(24.806,16)^2 + (3118,75)^2}$$

$$R_B = 25001,44 \text{ N}$$

Luego del análisis estático se determinó el diámetro del eje, obteniendo los datos mostrados en la tabla (3.3)

Tabla 3.3 - Especificaciones para el diseño del eje de transmisión de los rodillos

DIAMETRO DE LOS EJES			
	Primera iteración	Segunda iteración	
K_a	0,82	0,82	Factor de superficie
K_b	1	0,87	Factor de tamaño
S_e	245,8 MPa	226,7MPa	Límite de resistencia a la fatiga
M_a	45735,33 N mm	45735,33 N mm	Momento alternante
T_m	20162,3 N mm	20162,3 N mm	Par de torsión medio
k_f	1,2		Factor de esfuerzo por flexión
K_{fs}	1,1		Factor de esfuerzo por torsión
n	1,25		Factor de seguridad
MÉTODO DE GOODMAN			
d	30,03	31,04	Diámetro del eje

Fuente: Propia de los autores

Un diámetro comercial para ejes cercano al obtenido es el de (31.75 mm). Ahora calculamos los esfuerzos normales y cortantes a los que está sometido el eje de la maquina laminadora de roscas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{1231,52 * 15,875}{\frac{(\pi)(31,75mm)^4}{64}}$$

$$\sigma = 91 \text{ M Pa}$$

$$\tau = \frac{4(21373.21 \text{ N})}{3 \frac{(31,75mm)^2}{64}}$$

$$\tau = 24 \text{ M Pa}$$

Como los esfuerzos normales y cortantes a los que está sometido el eje no superan el esfuerzo de fluencia del acero AISI 1045. El diámetro y material seleccionado para el eje son adecuados.

3.1.4 Selección y diseño de las cuñas

Para realizar el cálculo de las cuñas primero seleccionamos del catálogo del proveedor, tabla

(3.4) una cuña cuadrada para un diámetro de eje de $1 \frac{1}{4}$ "

Tabla 3.4 Tabla cuñeros y cuñas del catálogo comercial

TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR EN PULGADAS DE SECCIÓN CUADRADA

SECCIÓN CUADRADA 

Diámetro del eje (pulg)	Anchura y profundidad del cuñero (pulg)	Cuña de sección cuadrada (pulg)	Diámetro del prisionero (pulg)
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8+ a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8+ a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1-1/4+ a 1-3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1-3/8+ a 1-3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1-3/4+ a 2-1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2-1/4+ a 2-3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2-3/4+ a 3-1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3-1/4+ a 3-3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3-3/4+ a 4-1/2	1 x 1/2	1 x 1	3/4
4-1/2+ a 5-1/2	1-1/4 x 5/8	1-1/4 x 1-1/4	7/8
5-1/2+ a 6-1/2	1-1/2 x 3/4	1-1/2 x 1-1/2	1
6-1/2+ a 7-1/2	1-3/4 x 7/8	1-3/4 x 1-3/4	1-1/4
7-1/2+ a 9	2 x 1	2 x 2	1-1/4
9+ a 11	2-1/2 x 1-1/4	2-1/2 x 2-1/2	1-1/4

Fuente: (INTERMEC, 2020)

Luego de la selección de la sección transversal de la cuña para piñones y rodillos se selecciona el mayor torque producido en el eje. En la tabla (3.5) se mostraron las variables de selección, los cuales mediante la ecuación (3.6) se calcularon la energía de distorsión necesaria para causar la falla en el material y de las ecuaciones (3.7) y (3.8) se calculó la longitud mínima de la cuña para evitar fallas por esfuerzo cortante o de aplastamiento.

Tabla 3.5 - Criterios de selección de la cuña para el eje de 31.75 mm de diámetro

Reacciones en los apoyos	A = 20332,98 N B = 25001,44
Carga deseada	F = 23538,88 N
Factor de aplicación de carga	$a_f = 1,2$
Vida deseada en horas	400 HORAS
Velocidad deseada en RPM	100 RPM
Números de ciclos estimados por el fabricante	10^6 ciclos
Vida nominal de catalogo	$X_D = 0,24$

Constantes del fabricante	a=3
	$X_0 = 0,02$
	$\theta = 4,459$
	b=1.438
Confiabilidad del cojinete	R= 0,9
Carga nominal de catalogo	18,55 KN
Especificación cojinete SKF	35 TF

Fuente: Propia de los autores

Por último, se verifico que la cuña no excediera 1,5 veces el diámetro del eje como se muestra a continuación:

$$(19.5 \text{ mm}) * (1.5) < (31.75 \text{ mm})$$

$$29.25 \text{ mm} < 31.75 \text{ mm}$$

3.2 Desarrollo de la metodología DFMA en la etapa de diseño usando la herramienta SolidWorks 2016®

En el análisis estático de los elementos del tren de laminado, para la placa lateral se verifico el límite de fluencia del acero ASTM A36 arrojando como resultado 250 MPa, el tamaño de los elementos analizados en el enmallado fue de 10,76 mm, el número de nodos obtenidos 16994 y los elementos analizados 8480 mediante el uso de 4 jacobianos, la máxima fuerza resultante fue de 30995 N.

La figura 3.10 muestra que el máximo esfuerzo causado es de aproximadamente 165 MPa valor que está por debajo del esfuerzo de fluencia del material simulado. Por tanto, el material, forma y espesor resiste las aplicaciones de carga.

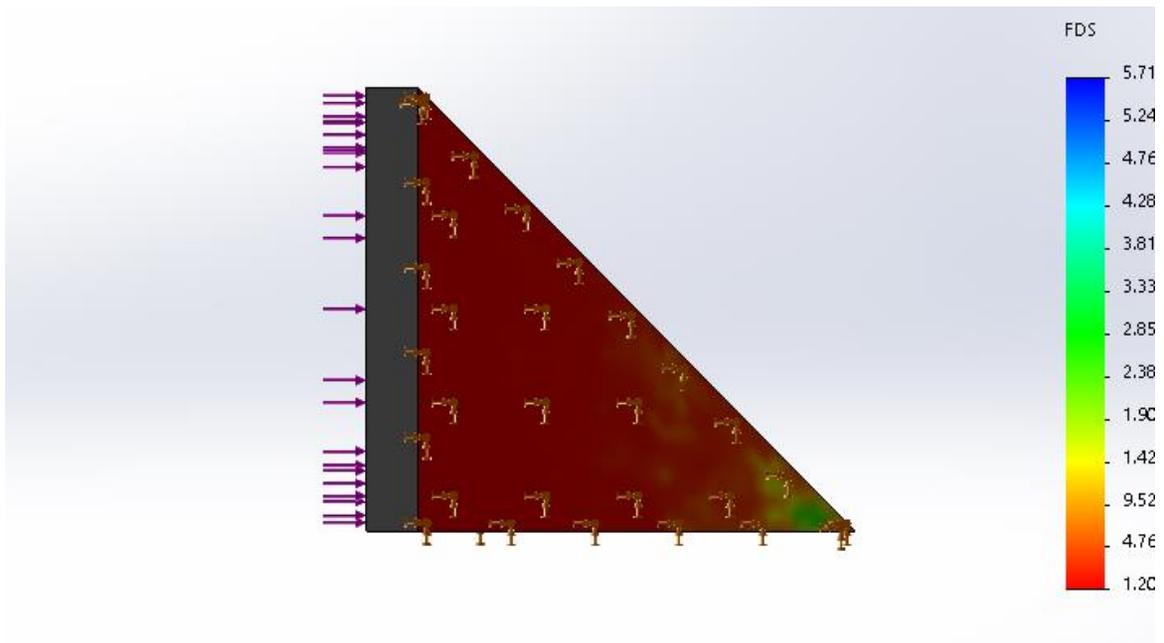


Figura 3.10 - Análisis FDS base fija + pie de amigos
Fuente: SOLIDWORKS 2016 ®

Para el rodillo se verificó el límite de fluencia del acero AISI 1045 CD arrojando como resultado 530 MPa, el tamaño de los elementos analizados en el enmallado fue de 4,33 mm, el número de nodos obtenidos 67490 y los elementos analizados 8480 mediante el uso de 4 jacobianos, la máxima fuerza resultante fue de 15960.6 N.

La figura 3.11 muestra que el máximo esfuerzo causado por la aplicación de las cargas es de aproximadamente 296 MPa valor que está por debajo del esfuerzo de fluencia del material simulado, por tanto, el material, forma y espesor resiste las aplicaciones de carga.

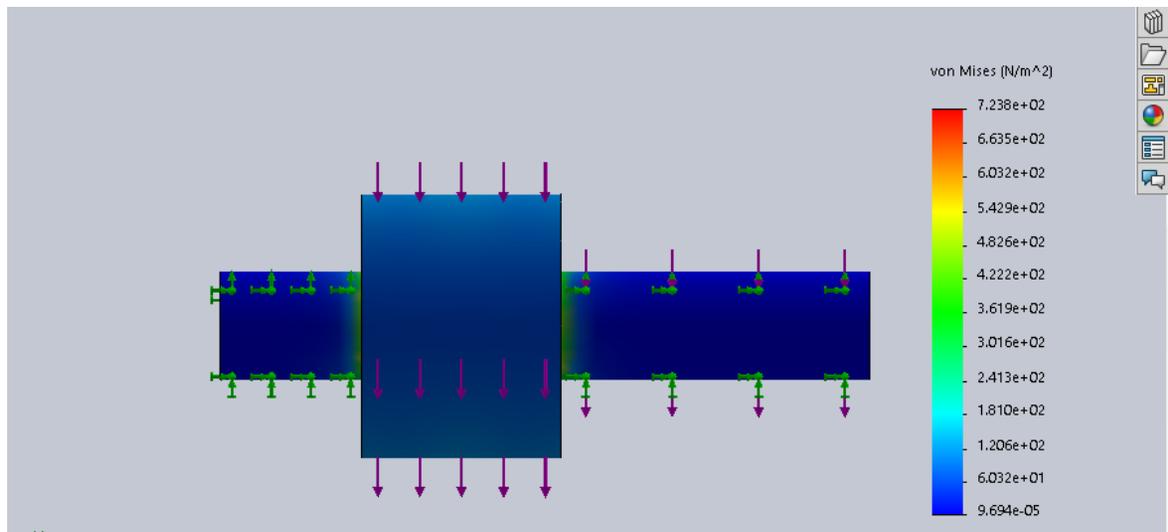


Figura 3.11 - Análisis estático de tensiones para el rodillo
Fuente: SOLIDWORKS 2016 ®

Se observa que los máximos esfuerzos se concentran en los apoyos del rodillo; en estos puntos el rodillo soporta el trabajo ejercido por la fuerza de laminado y los componentes del sistema de transmisión, como se ilustra en la figura con colores verde, amarillo y rojo en la escala de Von mises los cuales comprenden valores entre 99 a 296 MPa.

La figura 3.12 muestra el factor de seguridad mínimo de elemento es de 1,79 y se desarrolló en los apoyos del rodillo debido a que la máxima concentración de carga se da en esta zona, como se observó en el estudio de Von Mises. Este factor mínimo de seguridad se presenta en el elemento con unos colores rojo y amarillo en la escala como se observa en la figura y comprende valores

desde 1,7 hasta 2,6; nótese que de esta misma manera se desarrollan valores superiores mostrados de colores verde y azul que van desde 2,8 hasta 5, lo que satisface los fines de este trabajo.

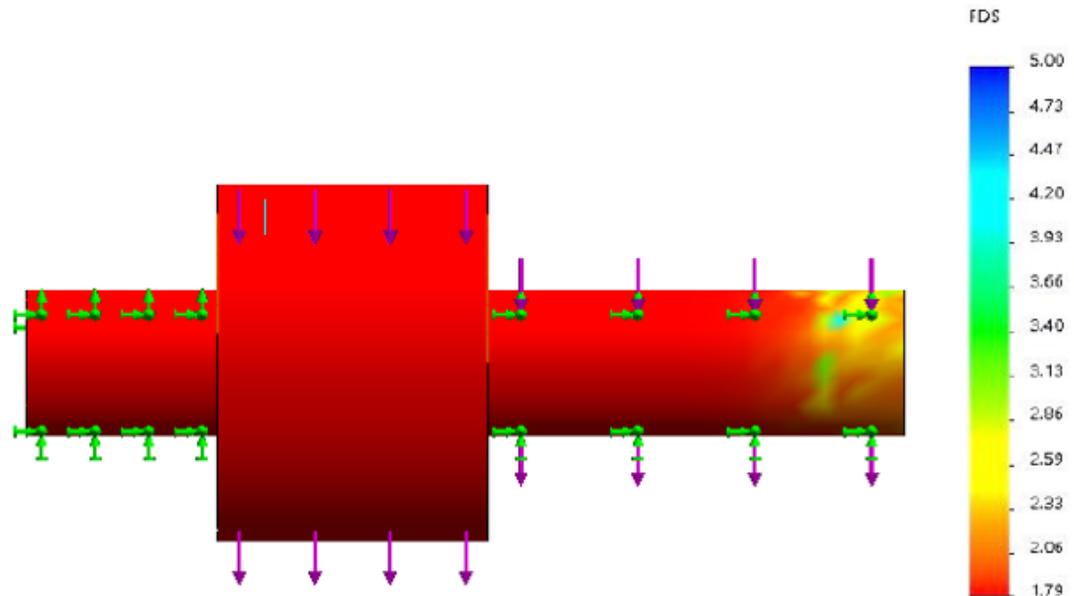


Figura 3.12 -Análisis del factor de seguridad para el rodillo
Fuente: SOLIDWORKS 2016 ®

Simultáneamente, la tabla 3.6 muestra el diseño conceptual del equipo siguiendo lineamientos propuestos en la metodología DFMA, buscando definir aspectos importantes en la etapa de diseño. Se establecieron dos conceptos requeridos (R) los que permiten desarrollar los objetivos del equipo y deseados (D) aquellos que permiten mejorar del proceso. La tabla 3.14 muestra el diseño conceptual del equipo siguiendo lineamientos propuestos en la metodología DFMA, buscando definir aspectos importantes en la etapa de diseño. Se establecieron dos conceptos requeridos (R) los que permiten desarrollar los objetivos del equipo y deseados (D) aquellos que permiten mejorar del proceso.

Tabla 3.6 - Equipo de laminación plana para placas de aluminio

CONCEPTO	R/D	DESCRIPCIÓN
Función	R	Laminación probetas de aluminio con diámetros menores a 13 mm
	D	Disminuir el tiempo en laminar
Operaciones necesarias	R	Medición del diámetro inicial de la probeta
	R	Definir paso de la rosca de la probeta
	D	Lectura de la fuerza de empuje de los rodillos hacia el cilindro para determinar fuerza de laminado
Medidas	R	Medición del diámetro final de la probeta

Fuente: Propia de los autores

En este mismo sentido, la tabla 3.7 muestra las partes y piezas que conforman el diseño del equipo de laminación, tiempo de ensamble total y por pieza de los elementos.

Tabla 3.7 - Partes y piezas que conforman el diseño del equipo de laminación

Descripción	Partes	Piezas	Tiempo de ensamble (s)
Rodillos de laminación	1	2	225
Piñones	1	5	300
Cuñas	1	7	450
Eje primario	1	1	60

Eje de transmisión 31.75 mm	1	2	150
Pasador de fijación gato hidráulico	1	1	28,125
Soporte móvil	1	1	56,25
Cadenas	1	2	131,25
Unión cadena	1	1	18,75
Clic unión cadena	1	1	28,125
Prisionero piñón 13 dientes	1	2	75
Prisionero piñón 10 dientes	1	3	112,5
Motoreductor	1	1	56,25
Gato Hidráulico	1	1	56,25
Chumacera SY31,75 TF	1	4	225
Tornillo de sujeción cojinetes	1	8	75
Tornillo fijación eje del gato hidráulico	1	4	75
Tuerca fijación motor hidráulico	1	2	18,75
Arandelas	1	16	150
Mesa soporte	1	1	37,5
TOTAL	20	65	1443,75

Fuente: Propia de los autores

Luego de analizar el montaje del equipo se determinó el número total de interfaces obteniendo como resultado un total de 189. Una vez fueron determinadas todas las variables se determinó la complejidad y la eficiencia del ensamble.

Para la complejidad del ensamble se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Np: Número de partes 20
- Nt: Número de piezas 65

- Ni: Número de interfaces 189

$$C_f = \sqrt[3]{(20)(65)(189)}$$

$$C_f = 63$$

Para la eficiencia del ensamble se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- N: Número de piezas 65
- ttot: tiempo total de ensamble 1443,75 (s)
- t: tiempo ideal de ensamble 5 (s)

$$n = \frac{(65)(5)}{1443,75} (100)$$

$$n = 22.5\%$$

Teniendo en cuenta la eficiencia del ensamble, se revisaron los diseños realizados y solidworks 2016 para aumentar la eficiencia de este, reduciendo el número de partes y los tiempos de ensamble.

En la siguiente tabla se muestra como quedo el nuevo ensamble

Tabla 3.8 - Partes y piezas que conforman el diseño del equipo de laminación

Descripción	Partes	Piezas	Tiempo de ensamble (s)
Rodillos de laminación	1	2	150

Eje de transmisión 31.75 mm	1	2	100
Pasador de fijación gato hidráulico	1	1	18,75
SopORTE móvil	1	1	37,5
Cadenas	1	1	87,5
Unión cadena	1	1	12,5
Clic unión cadena	1	1	18,75
Prisionero piñón 13 dientes	1	2	50
Prisionero piñón 10 dientes	1	1	25
Motoreductor	1	1	37,5
Gato Hidráulico	1	1	37,5
Chumacera SY31,75 TF	1	4	150
Tornillo de sujeción cojinetes	1	8	50
Tornillo fijación eje del gato hidráulico	1	4	50
Tuerca fijación motor hidráulico	1	2	12,5
Arandelas	1	16	100
Mesa soporte	1	1	25
TOTAL	18	49	805

Fuente: Propia de los autores

Luego de analizar el montaje del equipo se determinó el número total de interfaces obteniendo como resultado un total de 171. Una vez fueron determinadas todas las variables se determinó la complejidad y la eficiencia del ensamble.

Para la complejidad del ensamble se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Np: Número de partes 18
- Nt: Número de piezas 49
- Ni: Número de interfaces 171

$$C_f = \sqrt[3]{(18)(49)(171)}$$

$$C_f = 55$$

Para la eficiencia del ensamble se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- N: Número de piezas 49
- ttot: tiempo total de ensamble 805 (s)
- t: tiempo ideal de ensamble 5 (s)

$$n = \frac{(49)(5)}{805} (100)$$

$$n = 30\%$$

3.3 Construcción y validación del equipo de laminación de acuerdo a los parámetros establecidos en la etapa de diseño.

3.3.1 Construcción de las placas laterales

La figura 3.13 muestra el diseño de las placas laterales que soportan los componentes del equipo, la forma y las dimensiones son criterios de los diseñadores.

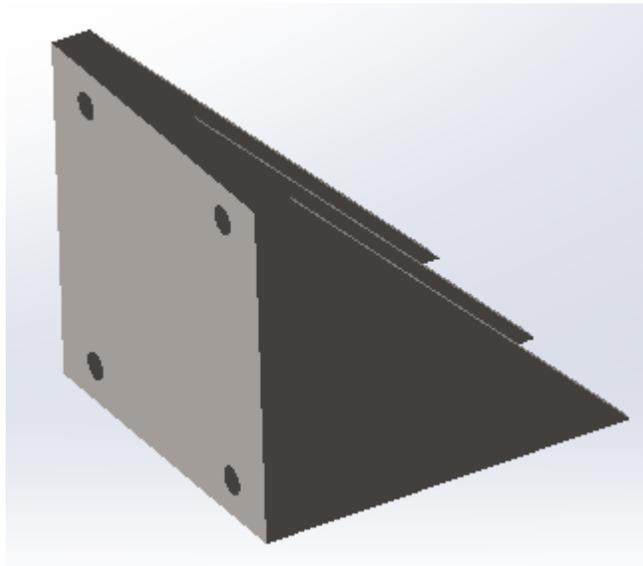


Figura 3.13 - Diseño base +pie de amigos
Fuente: SOLIDWORKS 2016 ®

Para su manufactura fueron utilizadas dos placas de acero ASTM A36 las placas fueron colocadas una sobre otra y mediante un pantógrafo CNC para cortes con plasma/oxicorte se obtuvo la forma y las dimensiones de diseño, el corte añadió detalles tales como los orificios donde se apoyaran los cojinetes para sostener los ejes.

3.3.2. Construcción del rodillo de laminación y ejes de transmisión

La figura 3.14 muestra el diseño del rodillo de laminación principal componentes del tren de laminado.

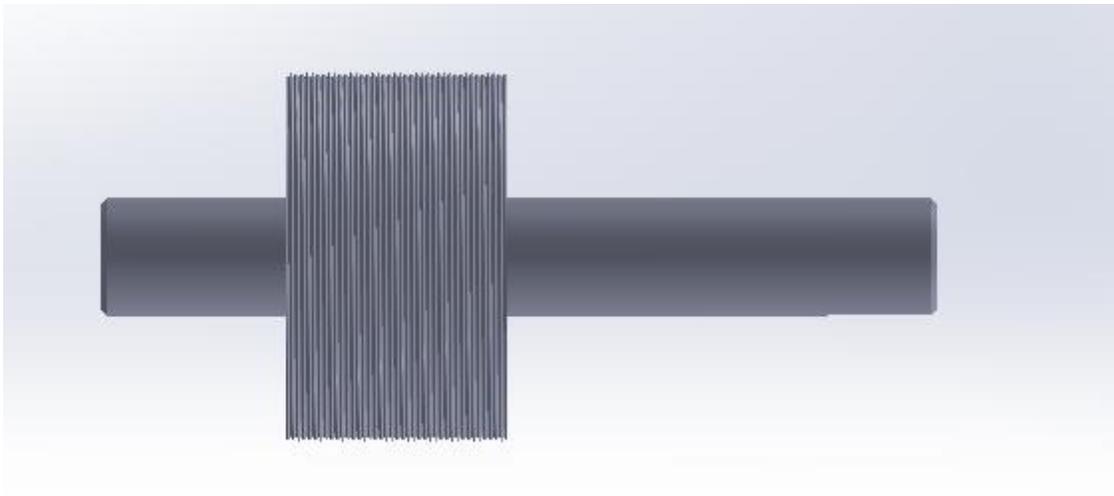


Figura 3.14 - Diseño del rodillo de laminación de rosca
Fuente: SOLIDWORKS 2016 ®

De acuerdo al diámetro calculado y como muestra la figura 3.35 para la manufactura del componente se utilizó una barra de acero AISI 1045 CD de 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud, La barra se maquinó hasta obtener la forma y las dimensiones establecidas por los diseñadores.

3.3.2 Ensamble del equipo de laminación

Una vez fueron maquinados todos los componentes del equipo se procedió al ensamble, la figura 3.15 muestra el ensamble de los piñones en el eje de transmisión de la primera fase.



Figura 3.15 - Ensamble de los piñones en el eje de transmisión de la primera fase.
Fuente: Propia de los autores

La figura 3.16 muestra el ensamble de los ejes de transmisión, rodamientos soportes fijos y soporte móvil, mientras que en la figura 3.42 se puede observar el montaje de los rodillos de laminación y por último en la figura 3.43 se muestra el montaje de las cadenas de transmisión de movimiento.



Figura 3.16 - Ensamble de los ejes de transmisión, rodamientos y piñonería en las placas laterales
Fuente: Propia de los autores



Figura 3.17 - Montaje de los rodillos de laminación
Fuente: Propia de los autores

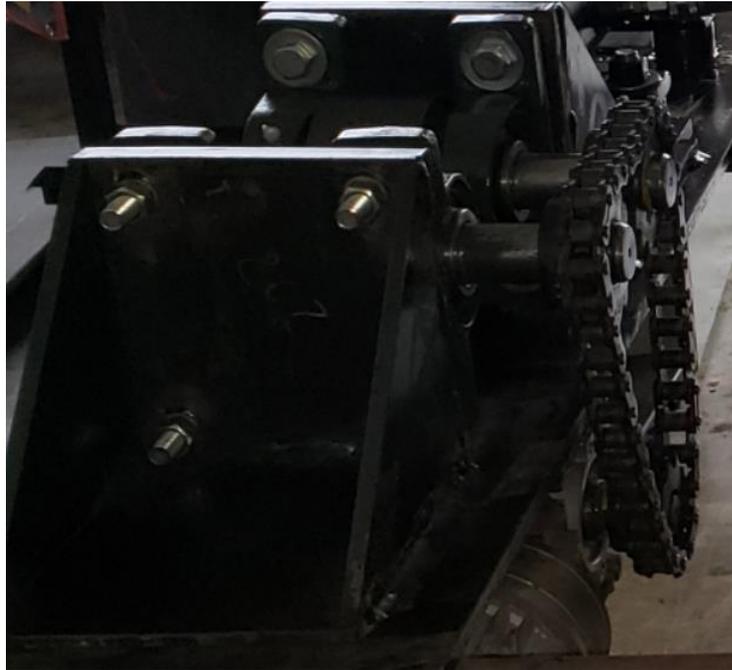


Figura 3.18 - Montaje de las cadenas de transmisión de movimiento

Fuente: Propia de los autores

El diseño final del equipo es mostrado en la figura 3.19 (a), (b), (c), (d).





Figura 3.19 - Equipo de laminación de roscas construida
Fuente: Propia de los autores

3.3.3 Ensayo con probetas

Se obtuvieron 3 probetas de aluminio fundido mostradas en la figura 3.20 las cuales debieron ser maquinadas en un torno para darle un mejor acabado superficial.



Figura 3.20 - Probetas fundidas para ensayos de tensión
Fuente: Propia de los autores

La figura 3.21 muestra el diagrama Esfuerzo – Deformación para las probetas de aluminio reciclado fundido ensayadas bajo la norma ASTM E8M, arrojando como resultado un esfuerzo de fluencia aproximado de 35 MPa, dato que será utilizado para determinar la fuerza de laminado en los posteriores ensayos con probetas a laminar.

Diagrama Esfuerzo – Deformación unitaria para las probetas de aluminio reciclado fundido ensayadas bajo la norma ASTM E8M espécimen

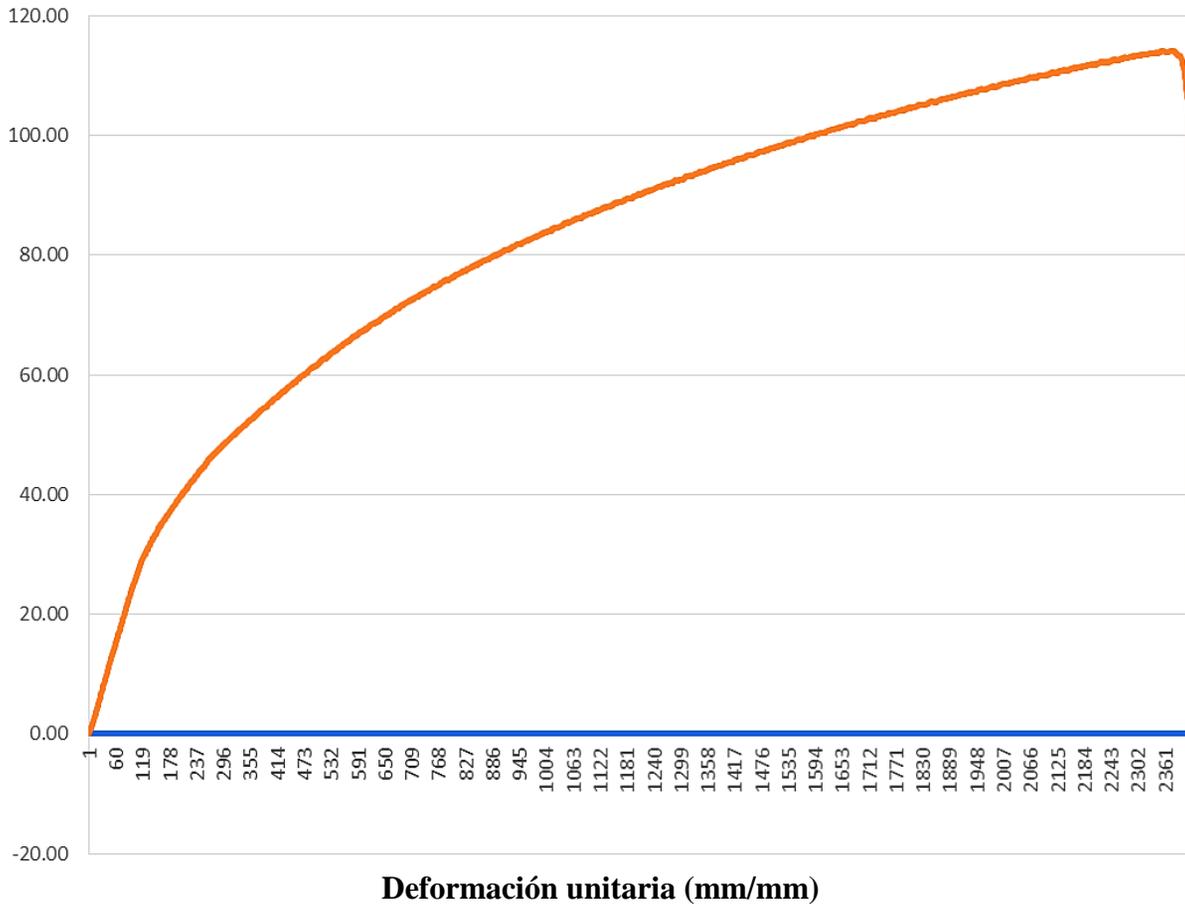


Figura 3.21 - Diagrama esfuerzo – Deformación unitaria para probetas de aluminio reciclado fundido

Fuente: Propia de los autores

Así mismo, la tabla 3.9 muestra los datos iniciales para los ensayos en el equipo de laminado

Tabla 3.9 - Datos iniciales para los ensayos en el equipo de laminado

σ_y fluencia	Diámetro interno del cilindro hidráulico	Área de presión en el gato hidráulico
35 MPa	63 mm	$A = \pi(31.5 \text{ mm})^2 \text{mm}^2$

Fuente: Propio de los autores

Se tabulo la información en las siguientes tablas donde muestran los diámetros de las probetas antes y después de una pasada por el equipo de laminación.

Tabla 3.10 - Medidas de los diámetros de las probetas

	DIAMETRO NOMIAL	DIAMETRO MAXIMO	DIAMETRO MINIMO	PRUEBA	PASO
PROBETA # 1	10 mm	10 mm	9,85	9,88	1,5
PROBETA # 2	10 mm	10 mm	9,85	9,92	1,5
PROBETA # 3	10 mm	10 mm	9,85	9,93	1,5

Fuente: Propio de los autores

Tabla 3.11 - Medidas de los diámetros de las probetas

	DIAMETRO NOMIAL	DIAMETRO MAXIMO	DIAMETRO MINIMO	PRUEBA	PASO
PROBETA # 1	12 mm	12 mm	11,85	11,86	1,5
PROBETA # 2	12 mm	12 mm	11,85	11,92	1,5
PROBETA # 3	12 mm	12 mm	11,85	11,95	1,5

Fuente: Propio de los autores

Se encontró que los diámetros finales de las probetas están en el rango aceptable por la literatura por tanto se procedió a probar las probetas con su respectiva rosca.



Figura 3.22 - Probetas fundidas para ensayos de laminación

Fuente: Propia de los autores



Figura 3.23 - Probetas fundidas laminadas
Fuente: Propia de los autores



Figura 3.24 - Probetas fundidas laminadas con tuerca
Fuente: Propia

4 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un equipo para laminado de rosca en frío para aluminio, que permite laminar roscas con un máximo diámetro de 13 mm, paso 1.5, de 100 RPM y necesitando una potencia de 0,75 HP lo cual no excede los componentes del banco hidráulico con el que se realizó el diseño de este equipo.

A través de herramientas de diseño asistido por computadora se desarrolló la metodología DFMA parame trizando y reduciendo los componentes del equipo, logrando un diseño eficiente y poco complejo.

Todos los elementos o componentes del equipo fueron seleccionado bajo criterio técnico y factores de diseño.

Cada uno de los elementos del equipo fue seleccionado bajo factores de diseño y simulaciones que nos permitieran corroborar la información teórica manejada.

Este proceso ofrece varias ventajas sobre el corte de roscas. Comparado con otros métodos de producción, el laminado de roscas proporciona propiedades físicas mejoradas. El trabajo en frío que tiene lugar en el proceso de laminado de roscas produce un incremento en la resistencia a la tensión y un terminado superficial mejor que el obtenido en operaciones de corte.

Aunque el equipo fue diseñado para laminar aluminio, este puede realizar el proceso de laminado a materiales cuyo esfuerzo de fluencia no supere los 138 MPa valor de diseño para este equipo, recomendamos verificar mediante un ensayo de tensión la fluencia del material antes de realizar ensayos en el equipo. Teniendo en cuenta el funcionamiento del equipo y las medidas de seguridad pertinentes se elaboraron el manual de mantenimiento, de operación y planos de construcción.

5 BIBLIOGRAFIA

ACUPULA. Catalogo en línea de aleaciones de aluminio tomado de http://www.alcupla.com/uploads/familia/22_21_composicion.pdf. Noviembre, 2016

Askeland, D (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales. Tercera edición. Editorial Thomson.

ASM HANDBOOK INTERNATIONAL (1997). Properties and selection: Nonferrous alloys and especial – purpose materials. Introduction to aluminum and aluminum alloys. Volumen 2.

Beer F, Russell J, Dwwolf J, Mazurek D (2009). Mecánica de materiales. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill.

Benites L, Maciel G, Sánchez J, Zepeda VI (2004). Laminadora de masa para la industria panificadora (LMIP). Proyecto de grado. Universidad de Guadalajara.

Boothroyd, G (1994). Assembly automación and product design, Marcel Dekker, Inc., New York

Borda, O. Análisis de pre inversión para la importancia y distribución de aluminio primario y secundario. Investigación en ingeniería civil. Universidad javeriana. Bogotá – Colombia

Budynas R, Nisbett J (2012). Diseño en ingeniería mecánica de shigley. Novena edición. Editorial Mc Graw Hill.

Callister, W (1995). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Reverte S.A.

Cerpa J, Torreglosa F, Torres J (2012). Trabajo con lámina metálica. Área de procesos de manufactura en metalmecánica. Universidad nacional de Colombia.

Chaparro J, Paternina A (2009). Diseño y construcción de un sistema mecánico para la elaboración de moldes de rosquetes cocidos. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero mecánico. Universidad industrial de Santander.

Dieter G (1986). Mechanical Metallurgy. Editorial Mc Graw Hill. Book Company. New York.

Enríquez J, Tremps E, Elío S, Fernández D (2010). Monografías sobre tecnología del acero. Laminación parte IV. Madrid España.

Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito (2011). Curso de materiales. Laboratorio de producción y protocolo de laminación. Facultad de ingeniería industrial. Estorilio C, Simião M (2006). Cost reduction of a diesel engine using the DFMA method. Research work of Federal University of Technology.

Figuerola J, Sánchez M (2010). Diseño y construcción de una laminadora y diseño de una línea de producción para panificación. Tesis de grado. Facultad de mecánica. Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Groover M (2007). Fundamentos de manufactura moderna. Tercera edición. Editorial McGraw Hill. México.

INTERMEC (2010). Catalogo comercial de transmisión de potencia por cadenas de rodillos. Tercera edición.

Jensen C. Hesel J. Short D (2004). Dibujo y diseño en ingeniería. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill.

Kalpakjian S, Schmid S (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. Quinta edición. Editorial Pearson México.

Maffia, E (2013). Estructura y propiedades de las aleaciones, aluminio y sus aleaciones. Investigación sobre materiales de ingeniería.

Martínez, A (2008). Tecnología mecánica y de la fabricación. Conceptos teóricos. Área de ingeniería mecánica universidad de Almería, España.

Niebles E, Quesada F, Santamaría H, Méndez D, Ruiz A (2009). Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma ASTM G-65. Publicación del grupo de investigación Universidad autónoma del caribe.

Páez, D (2004). Propiedades mecánicas de un acero inoxidable austenítico AISI 304 laminado en caliente. Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero de materiales. Universidad Simón Bolívar.

Pahl G, Beitz W (1995). Engineering design, a systematic approach, Second edición. Springer-Vorlag, Berlín.

PRODINTEC (2016). Guía metodológica DFMA Diseño para fabricación y ensamble. Tomado de www.prodintec.com septiembre 2016.

Qiquan L, Wenzheng D, Yantao L, Hui Zhangb, Zhigang W (2014). Microstructure simulation of 2519 aluminum alloy in multi-pass hot compression process. Procedia Engineering 81 1259 – 1264

Schindler I, Janošec M, Místecký E, Růžička M, Ěílek L, Dobrzański L, Ruzs S, Suchánek P (2007). Effect of cold rolling and annealing on mechanical properties of HSLA Steel. International Scientific Journal. Volume 36.

Sellars, C (1985). Computer modelling of hot-working processes. Materials Science and Technology, 1(4), 325-332

SKF catalogo en línea de Rodamientos SKF tomado de <http://www.skf.com/cl/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html>. Agosto 2016.

Smith W, Hashemi J (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Cuarta edición. Editorial Mc Graw Hill.

Torres M, Di Graci V, González G, Zurita O (2006). Estimación del esfuerzo de fluencia para materiales laminados en frío. Publicación del grupo de investigación de ingeniería mecánica Universidad simón bolívar.

W. Trinks, J. Montero (1964). Fundamentos de la laminación. Segunda edición.

Ediciones de Interciencia, Libros Técnicos, Madrid.

Wang J, Jiang Z, Tieu A, Liu X, Wang G (2006). Analysis of thrust force in a work roll shifting mill. International Journal of Mechanical Sciences 48 (2006) 1095–102

ANEXOS

A1: MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

El mantenimiento es un aspecto importante a tener en cuenta, este puede alargar la vida útil del equipo. Para que la máquina posea un funcionamiento adecuado se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.

1. Verificar que la tensión de las cadenas sean las adecuadas.
2. Lubricar las cadenas y guías de los rodillos usando grasa LB número 2.
3. Revisar cableado eléctrico, los cables deben estar en buen estado sin alambres por fuera.
4. Verificar el ajuste de tuercas y tornillos de la máquina, ajustar si es necesario.
5. Inspeccionar y lubricar rodamientos usando grasa NLGI número 2.
6. Revisar y si es necesario completar nivel de aceite hidráulico.
7. Revisar mangueras, racores y conexiones de la sección hidráulica.
8. Comprobar estado y ajuste de guardas o protectores del equipo.
9. Mantener limpios los rodillos de laminación.
10. Comprobar que no se presenten fugas en el gato hidráulico.
11. Inspeccionar los manómetros del equipo.

A2: OPERACIÓN DE LA MÁQUINA.

Para poner en marcha la máquina se debe seguir los pasos descritos en la siguiente tabla:

No.	ACCIONES	
1	Verificar que el equipo se encuentre ubicada sobre una superficie plana, totalmente nivelada y al lado del banco hidráulico.	
2	Conectar las mangueras al motor hidráulico.	
3	Revisar que el nivel del aceite hidráulico sea el correcto.	
4	Conectar el banco hidráulico a una fuente eléctrica de 110 voltios.	

5	Asegurarse, antes de poner en marcha el equipo, que la válvula de paso este completamente abierta.	
6	Encender el banco hidráulico presionando el botón ON.	
7	Cerrar la válvula de paso.	
8	Verificar que el manómetro de presión del sistema se encuentre marcando la presión que suministra la bomba hidráulica.	
9	Verificar que la válvula reguladora de caudal este completamente abierta.	

10	Subir el rodillo inferior hasta tocar la probeta para luego retirar esta.	
11	Ajustar el comparador de caratula en cero y subir el rodillo la cantidad deseada a laminar en la pasada.	
12	Accionar la válvula direccional en la posición de avance para dar inicio al ensayo. Asegurarse de que el sentido de giro de los rodillos es el correcto.	
13	Tomar lectura de la medición del manómetro de laminación	
14	Repetir los pasos 10, 11, 12 para cada pasada de laminación.	

15	Accionar la válvula direccional para parar los rodillos.	
16	Abrir válvula de paso	
17	Apagar el equipo presionando el botón OFF.	

A3: FICHA TECNICA

	<h2>FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO</h2>
	DISEÑO DE UN EQUIPO DE LAMINACIÓN DE ROSCAS EN FRIO PARA PLACAS DE ALUMINIO
	AUTORES: ALEXANDER SIMANCA & ÓSCAR GALVIS
UBICACIÓN	Laboratorio de Materiales y Procesos de Ingeniería Mecánica Universidad de Córdoba
FECHA:	OCTUBRE 2020
	<h3>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</h3>
	• Presión hidráulica máxima 50 bares.
	• Máximas RPM 100
	• Motor eléctrico: 745,7 Watts, 1500 rpm.
	• Bomba hidráulica: 175 bares a 1500
	• Alimentación 110 voltios, 60 Hz.
	• Espesor máximo de probeta a laminar 9,53 mm.
	• Fluencia máxima de material a laminar 138 MPa.
	• Máxima apertura de los rodillos 13 mm.



PRÁCTICA LABORATORIO LAMINADO DE ROSCAS EN FRÍO DE METALES

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de laminación en frío se clasifican como procesos convencionales de deformación plástica para producir roscas llevados a cabo generalmente a temperatura ambiente, lo cual genera propiedades únicas respecto a otros procesos.

Las expresiones matemáticas que rigen el comportamiento del material en estos procesos están relacionadas entre distintos parámetros denotados a partir de un conjunto de ecuaciones que relacionan fuerza de laminación entre un par de ejes que transmiten la potencia a 2 rodillos encargados de generar deformación plástica en el material. No obstante, debido a la complejidad que implica estudiar el comportamiento, se determina realizar simplificaciones respecto a cada una de las variables que describe el proceso.

A partir de esta práctica de laboratorio se pretende entender los conceptos que gobiernan el proceso de laminación haciendo uso de equipos y herramientas que dispone el laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad de Córdoba para poder determinar el comportamiento que tienen los metales al ser trabajados en frío.

2 OBJETIVOS

1. Comprender el funcionamiento de la máquina laminadora de roscas a partir del reconocimiento de sus partes.
2. Conocer los efectos generados en el material al ser laminado en frío.
3. Establecer la relación experimental entre la energía consumida por el equipo de laminación a partir de variables eléctricas y la energía teórica.
4. Entender, analizar e interpretar los resultados obtenidos durante la práctica.

3 CONCEPTOS TEÓRICOS.

Cuando se lamina un material de baja resistencia, éste se puede conformar a menor fuerza de laminación y amperaje en los motores, produciendo valores de fricción más bajos que facilita el proceso; si el material posee mayor dureza y resistencia, se presenta un grado mayor de dificultad en el procesado, originando mayor fuerza de laminación y amperaje para poder imprimir la matriz del rodillo laminador. Para realizar una aproximación al cálculo de las fuerzas de laminación, se tienen en cuenta ciertas consideraciones y suposiciones descritas a continuación:

- Condiciones de deformación de roscas.
- Deformación homogénea.
- Coeficiente de fricción constante.
- Deformación despreciable de rodillos.
- Condiciones de volumen constante.

3.1 Formulas básicas en proceso de laminado

De acuerdo a los procesos de laminación de roscas se pueden describir a partir de las siguientes ecuaciones, teniendo presente la siguiente representación

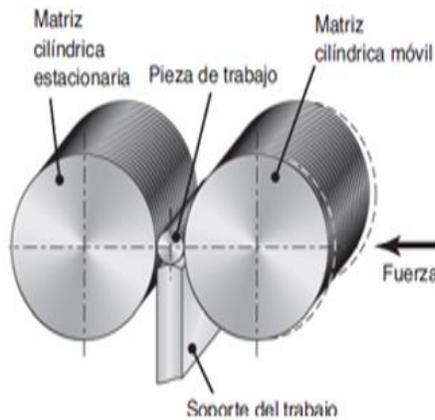


Figura 1. a) Esquema del proceso de laminación de roscas, fuerza de laminado.

$$F = Lw\bar{Y}_{prom}$$

$$Potencia = \frac{2\pi FLN}{60000} \text{ kW}$$

la longitud de contacto entre el rodillo y la probeta definido a partir

de:

$$L = \left(\sqrt{\frac{paso}{2}} \right) \left(\phi - \frac{paso}{2} \right)$$

El W o largo de la rosca está definido longitud descrita por vástago roscado. (mm)

Elongación:

$$e = \frac{h_0}{h_f}$$

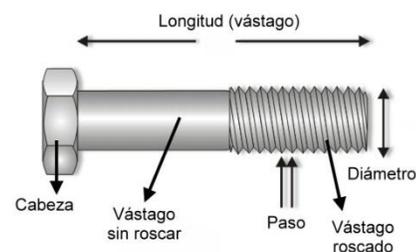
3.2 Consideraciones a tener en cuenta durante control de calidad

Los defectos presentes en los materiales debido al proceso de laminación y a cualquier otro proceso son indeseables no solo por la disminución en la calidad, estética del material, sino porque también puede estar comprometida su integridad estructural relacionada con las características mecánicas y de fabricación; las consideraciones más relevantes respecto a estas condiciones

son:

- Diámetro final
- Paso correcto
- Propiedades mecánicas del material
- Esfuerzos residuales y acabado
- superficial del producto final

4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO



En esta sección se realizará la descripción

de las principales partes que compone la máquina, inicialmente se tiene el aspecto general de la máquina.



Figura 2. Máquina laminadora

4.1 Sistema de potencia.

Consta de un moto-reductor con las siguientes especificaciones de potencia mecánica 100 RPM; el cual se acopla a un sistema de transmisión por cadenas y conjunto de ruedas dentadas, que conducen el torque generado por el motor hacia los rodillos de laminación.



Figura 3. Configuración sistema transmisión potencia motor-cadena.

4.2 Rodillos de laminación

Se recomienda que los rodillos a implementar para procesos de laminado en frío sean fabricados en acero SAE 1045. El diámetro medido de los rodillos es de 100 mm de ubicación horizontal.



Figura 4. Rodillos de laminación.

5 PROCEDIMIENTO

1. Verificar conexiones eléctricas.
2. Verificar que los dispositivos mecánicos se encuentren correctamente asegurados.
3. Calibrar y calcular separación entre rodillos laminadores.
4. Medir diámetro de la probeta a laminar utilizando el pie de rey, de acuerdo a distintos puntos de medición determinar los valores promedio.
5. Realizar encendido máquina laminadora teniendo presente que la plataforma de trabajo debe estar completamente desocupada

6. Consignar los datos

6 INFORME

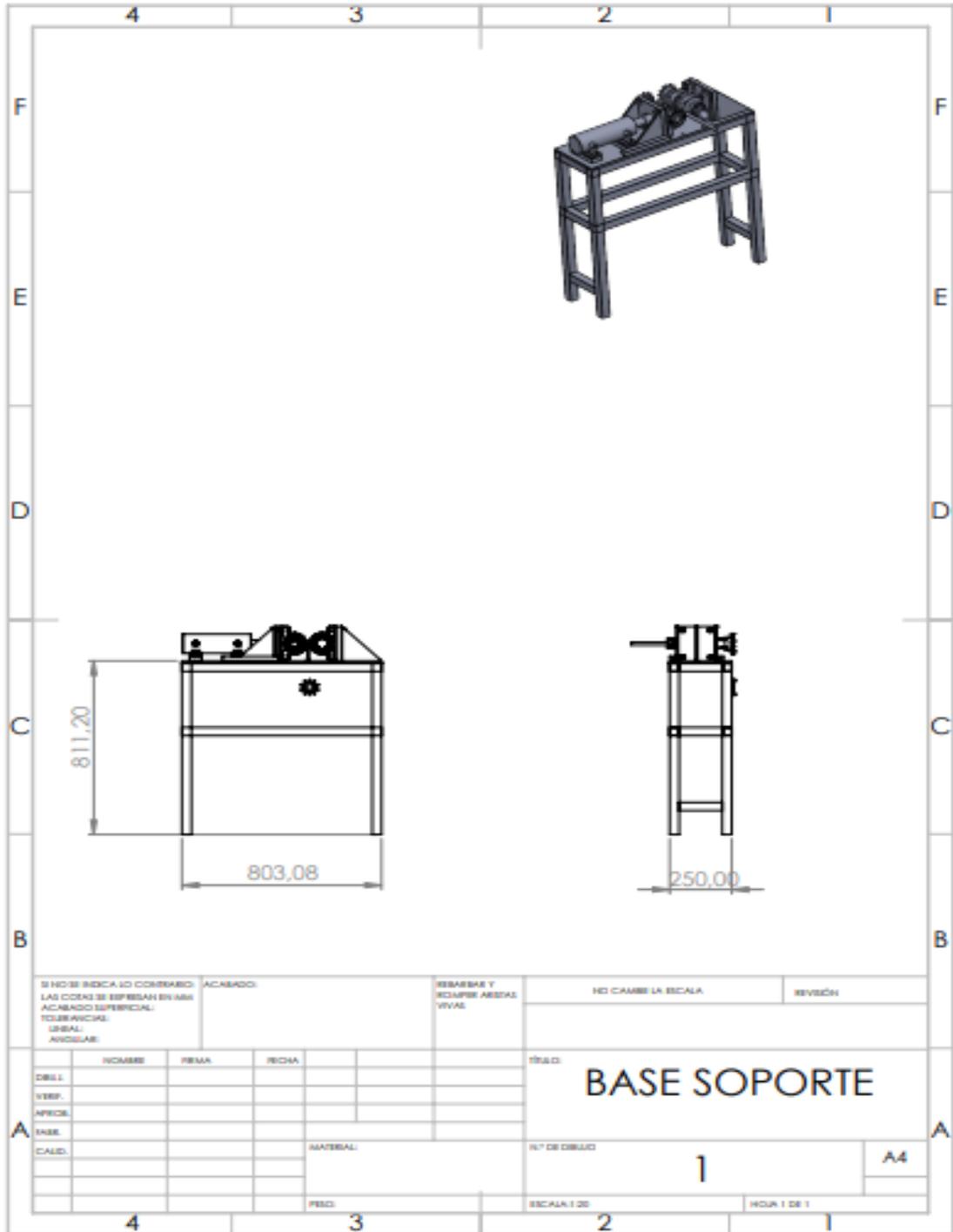
➤ Obtenga la gráfica para probetas de 8, 10, 12 mm diámetro de las roscas vs la fuerza de laminado.

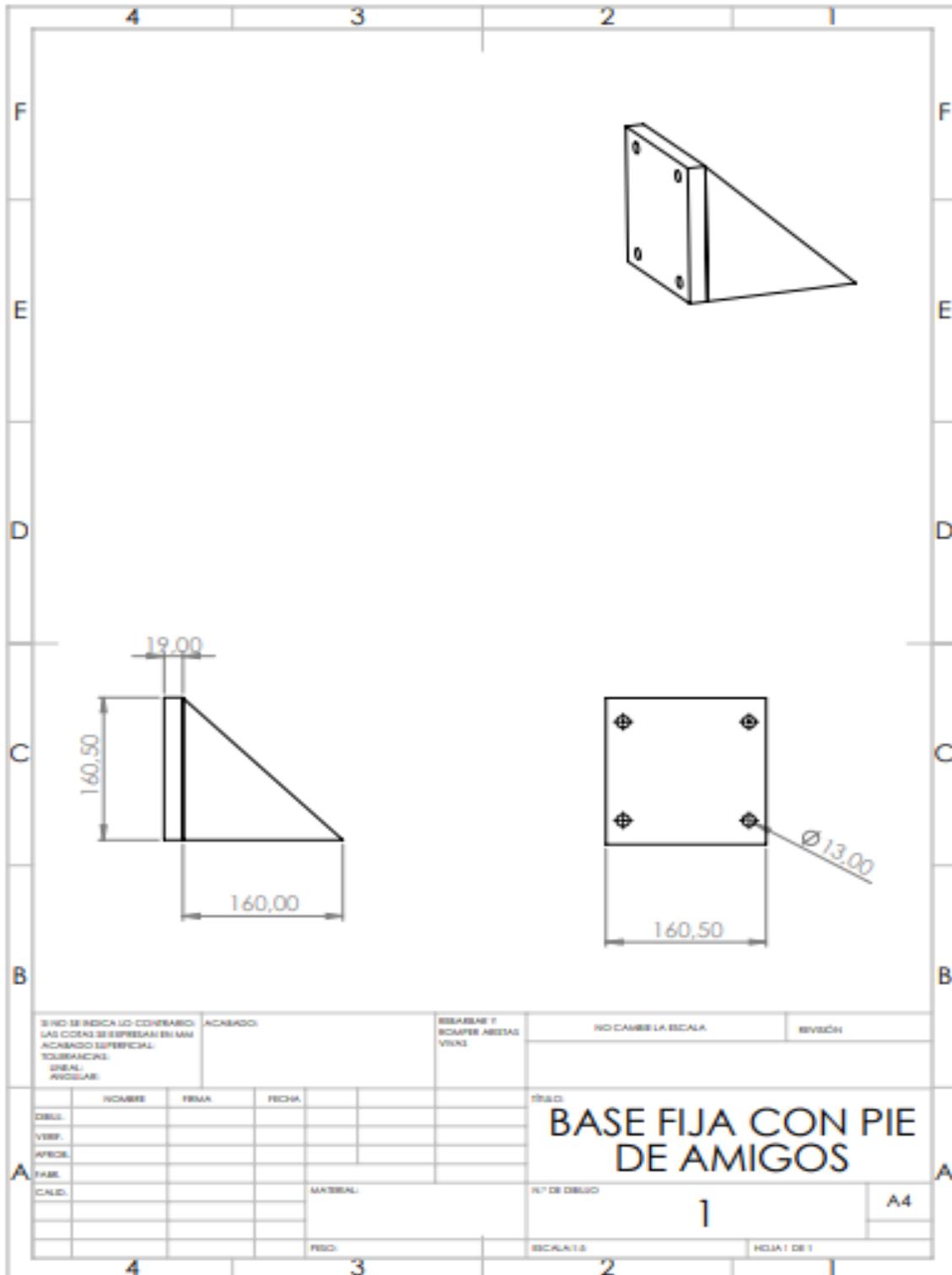
➤ Compare los datos obtenidos con los hallados teóricamente

➤ Calcule la potencia consumida en el proceso de laminado para cada una de las probetas.

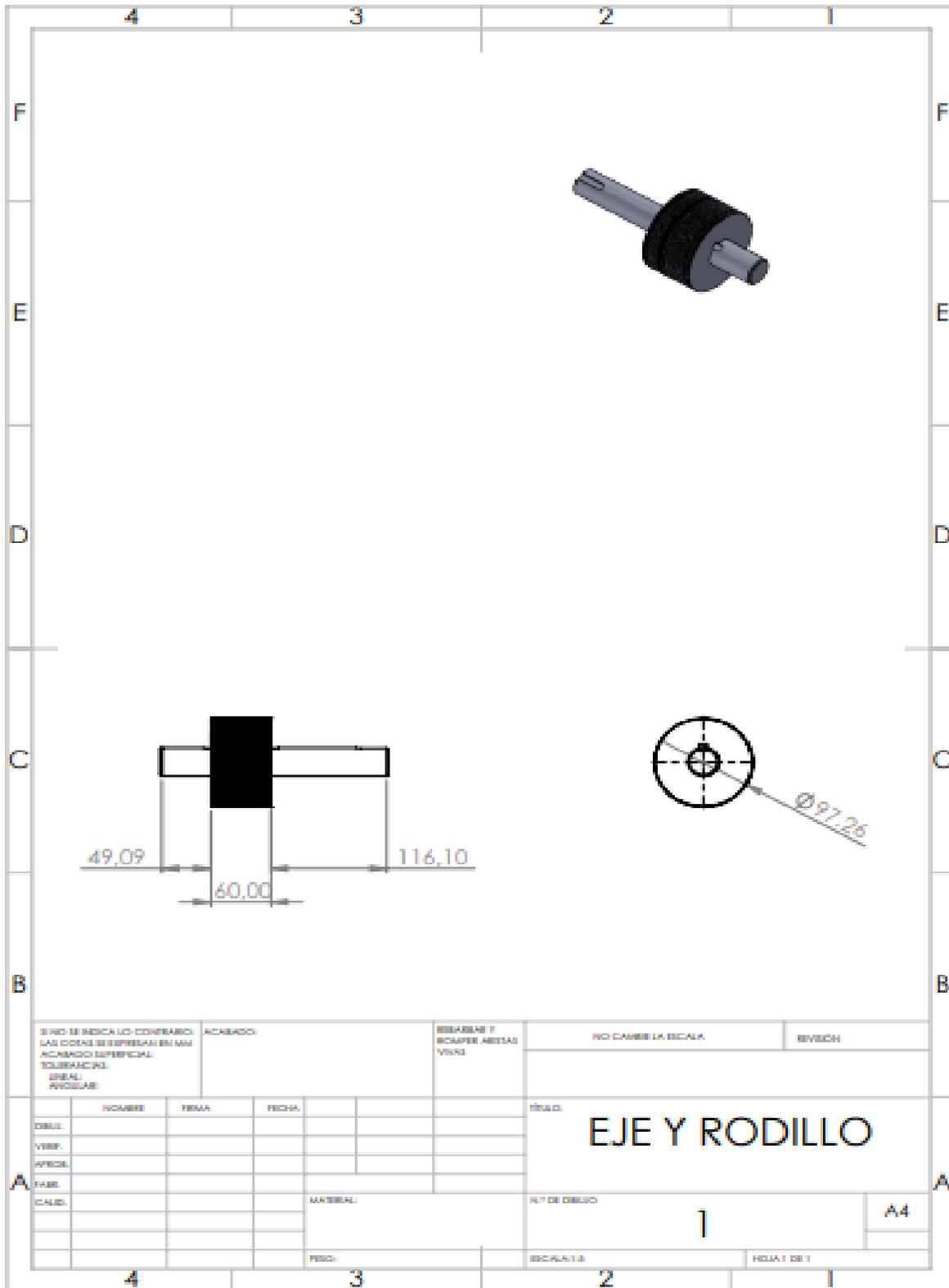
PLANOS DEL EQUIPO

A4:

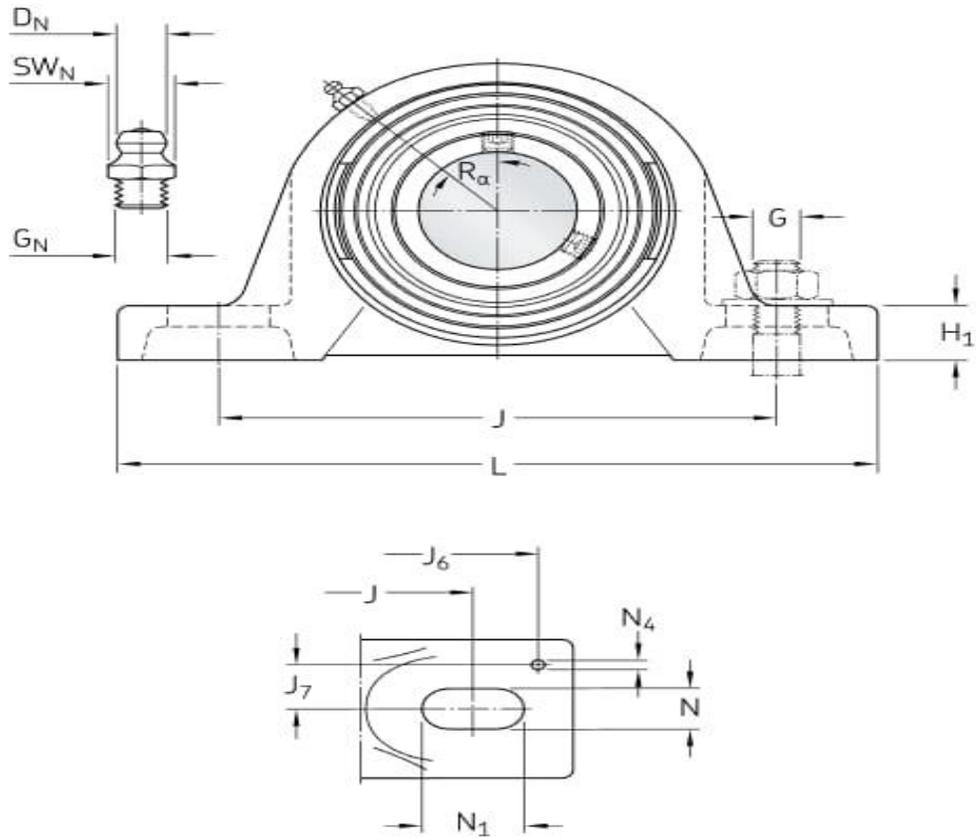




SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TORNEADAS: Ø REAL ANCHURAS:		ACABADO:	REBARBAS Y ROMPER ARISTAS VINCIA	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ. VERIF. APROB. TITUL. CALIF.	NOMBRE	FECHA	FECHA	TÍTULO: BASE FIJA CON PIE DE AMIGOS	
				Nº DE DIBUJO	A4
			MATERIAL:	1	
			PROD.	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ESPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: (SEAL) AVISABLE		ACABADO:		REBARBOS Y ROMPER ARESTAS TIPAS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISOR	
DISEÑ. VERIF. PROFES. FABR. CALIF.		NOMBRE FECHA FECHA		MATERIAL		TÍTULO: <h1 style="text-align: center;">EJE Y RODILLO</h1>			
						N° DE DISEÑO <h1 style="text-align: center;">1</h1>		A4	
		FECH.		ESCALA 1:1		HOJA 1 DE 1			



DIMENSIONES

d 35 mm

$d_1 \approx 46.1$ mm

A 45 mm
