 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE MÁQUINA ENDEREZADORA DE FLEJE METÁLICO

**Carlos Ernesto Agudelo
Diego Orlando Quintero
Jhonny Alexander Muñoz**

**Luis Alfonso Loaiza Upegui
Asesor.**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
2017**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RESUMEN

Este proyecto pretende diseñar un sistema Electromecánico que permita implementar una línea de suministro de fleje metálico, enderezado, medición y corte, en un solo conjunto semiautomático, obteniendo un proceso que conlleve a una mayor eficiencia. Se llevó a cabo una investigación en literatura existente, principalmente en bases de datos científicas, se realizaron visitas técnicas a proveedores de fleje metálico y talleres especializados afín, con el propósito de obtener la mayor información posible. Luego se evaluaron las diferentes técnicas utilizadas para el enderezado de fleje metálico, teniendo en cuenta la eficiencia y calidad.

Después del estudio se tomó la decisión de diseñar la máquina, usando el método de enderezado por rodillos múltiples, que con las particularidades de esta técnica, permite aumentar considerablemente la cantidad de unidades de fleje enderezadas por unidad de tiempo debido a la rapidez con que se efectúan las etapas de enderezado, medición y corte. Se desarrollaron los cálculos de diseño, elaboración de planos mecánicos, eléctricos e hidráulicos del sistema, además del modelado tridimensional en donde se presenta la descripción de los principales componentes del diseño. Para comprobar la efectividad del proyecto, se realiza un análisis de campo donde se toma un tiempo de 4.2 min, para realizar el proceso de enderezado en un sistema convencional y es comparado con el tiempo consumido por la máquina que según las características de diseño que es 1 min, para lo cual reduce hasta en un 76% el tiempo empleado para el proceso frente a un sistema convencional. El costo de fabricación estimado de esta máquina es de 9.679.800 COP.

Palabras clave: Fleje metálico, enderezado de fleje metálico, máquina enderezadora.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a Dios por habernos fortalecido en los momentos difíciles y por bendecirnos con la oportunidad de formarnos cada día.

Agradecer al Instituto Tecnológico Metropolitano que es un espacio idóneo para el aprendizaje, nos hizo parte suyo y nos dio las herramientas necesarias durante estos años.

A lo profesores por guiar, formar y entregar lo mejor de sí, para formar profesionales capaces de afrontar las diferentes circunstancias que se presentaran en la vida laboral.

Al señor Edilberto Arboleda de Troqueltec SAS, por abrirnos las puertas de su empresa además de contribuir con sus equipos y experiencia para el desarrollo del proyecto.

A nuestros familiares que siempre estuvieron a nuestra diestra apoyando, brindando su amor y paciencia, formando parte del camino para lograr esta anhelada meta.

Y finalmente a nuestros compañeros que como un buen equipo, forjamos nuestro rumbo para llevar a cabo los objetivos propuestos, aprendimos de los errores y aprendimos a hacer las cosas de la mejor manera, para ser profesionales íntegros que le aporten a la sociedad y al mundo que nos rodea.

ACRÓNIMOS

HRC	=	Rock Well C
FAT	=	Fleje de Acero Para Troqueles
N	=	Newton
m	=	Metro
MPa	=	Mega Pascal
Hz	=	Hertz
Kg	=	Kilogramo
W	=	Watt
s	=	Segundo
COP	=	Pesos Colombianos
min	=	Minuto
N/A	=	No Aplica
HP	=	Horse Power
Rad	=	Radianes
mm	=	Milímetros

Contenido

1.1	Organización del trabajo	12
1.2	OBJETIVOS	13
	Objetivo General	13
	Objetivos Específicos	13
2	MARCO TEÓRICO.....	14
2.1	El Acero.....	14
2.2	Fleje metálico	14
	2.2.1 Flejes de acero para troqueles (FAT)	15
	2.2.2 Presentaciones comerciales fleje de acero para corte.....	16
2.3	El Enderezado.....	17
	2.3.1 Enderezado de fleje metálico	18
	2.3.2 Principio de alteración de la estructura del material a enderezar	18
	2.3.3 Proceso de enderezado de fleje metálico	19
	2.3.4 Técnicas de enderezado de fleje metálico	19
2.4	Deformación elástico-plástica.....	25
2.5	Análisis de flexión vigas de sección rectangular	26
	2.5.1 Momento de inercia de figuras planas	26
	2.5.2 Momento flector para una sección rectangular.....	27
	2.5.3 Fuerza de doblado entre dos puntos de apoyo.....	28
2.6	Análisis de Momento de fuerza	29
	2.6.1 Torque distribuido.....	30
2.7	Parámetros de diseño en sistemas de enderezado por rodillos múltiples.....	30
	2.7.1 Relación de plastificación	30
	2.7.2 Límite elástico de curvatura fleje	31
	2.7.3 Número de rodillos	33

2.7.4	Relación Diámetro y paso de rodillos	33
2.7.5	Fuerza de enderezado	35
2.8	Ejes	36
2.9	Rodamientos	37
2.10	Sistemas de transmisión mecánica	38
2.10.1	Transmisión de potencia.....	38
2.10.2	Trasmisión por cadena.....	38
2.11	Cizallado	39
2.12	Motorreductores.....	39
2.13	Encoder	40
2.14	Variadores de velocidad.....	40
2.15	Diseño asistido por computador (CAD).....	41
3	METODOLOGÍA	42
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1	Definición de las especificaciones de operación de la máquina.....	50
4.2	Selección del método de enderezado.....	51
4.2.1	Matriz de decisión metodo de enderezado.....	51
4.2.2	Método convencional con máquina de pedal	52
4.2.3	Proceso enderezado con especificaciones de la máquina diseñada	52
4.3	Cálculos y diseño del sistema mecánico	53
4.3.1	Cálculo de la fuerza de doblado	53
4.3.2	Cálculo fuerza de enderezado	56
4.3.3	Cálculo del momento de la bobina de fleje	60
4.3.4	Torque máximo rodillo de arrastre.....	62
4.3.5	Diseño del rodillo de arrastre	64
4.3.6	Selección del rodamiento	70
4.3.7	Modelado del enderezador	71
4.3.8	Selección del motorreductor	74
4.3.9	Cálculo del sistema de transmisión de potencia	76
4.3.10	Cálculo Fuerza corte cizalla.....	80
4.4	Sistema electrohidráulico.....	80

Código	
Versión	
Fecha	

4.4.1	Esquema de control	81
4.4.2	Esquema de potencia	82
4.4.3	Esquema hidráulico	83
4.5	Sistema de suministro de fleje	84
4.5.1	Estructura enderezado-corte.....	84
4.6	Diseño final sistema de enderezado	85
4.7	Presupuesto de fabricación de la máquina.....	87
4.8	Discusión	89
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	91
5.1	Conclusiones.....	91
5.2	Recomendaciones y trabajo futuro.....	92
6	REFERENCIAS.....	93
7	APÉNDICE	96

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Enderezadora de pedal (Troqueltec SAS, s.f.). Fuente: Elaboración propia.....	11
Ilustración 2. Tramo de fleje metálico. Fuente: Elaboración propia	15
Ilustración 3. Fleje de acero para Troqueles. Fuente: Elaboración propia.....	15
Ilustración 4. Rollo de FAT comercial. Fuente: http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Lineas_de_corte.pdf	16
Ilustración 5. Deformaciones del fleje metálico. Fuente: http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/bonbina.html	18
Ilustración 6. Roladora rodillos paralelos. Fuente: Elaboración propia	21
Ilustración 7. Roladora de rodillos alternados. Fuente: Elaboración propia	21
Ilustración 8. Principio de enderezado por estirado. Fuente: http://leveltek.com/stretch-leveling/benefits-differences/	22
Ilustración 9. Principio de enderezado por rodillos múltiples. Fuente: http://leveltek.com/stretch-leveling/benefits-differences/	23
Ilustración 10. Enderezador de rodillos múltiples para láminas anchas. Fuente: http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/procesos-de-enderezado.html	23
Ilustración 11. Comparativo tiempo métodos de enderezado. Fuente: http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/procesos-de-enderezado.html	24
Ilustración 12. Curva esfuerzo deformación típica acero. Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) ...	26
Ilustración 13. Gráfica del momento plástico y momento flector. Fuente: (Bio-bio et al., 2010) 27	27
Ilustración 14. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)	28
Ilustración 15. Torque en los sistemas de rodillos. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)	29
Ilustración 16. Fuerza de roce a través de su coeficiente. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)	29
Ilustración 17. Torque distribuido. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)	30
Ilustración 18. Radio de curvatura del fleje entre el rodillo.	31
Ilustración 19. Compresión-Tensión radio de curvatura material a través de 5 rodillos.	32
Ilustración 20. Fuerzas de enderezado. Fuente: (Yong-qin et al., 2012).	36
Ilustración 21. Rodamiento de agujas. Fuente: Elaboración propia.....	37
Ilustración 22. Cizalla hidráulica. Fuente: http://www.boquillasypunzones.es/g-60-cizalla-hidraulica	39
Ilustración 23. Motorreductor sinfín corona	40
Ilustración 24. Banco de trabajo enderezado manual Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia	42
Ilustración 25. Almacenamiento y Medición del fleje, Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia.....	42
Ilustración 26. Corte de fleje cizalla manual, Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia.....	43

Código	
Versión	
Fecha	

Ilustración 27. Enderezado por pedal, Troqueltec SAS. Fuente: Elaboración Propia.....	44
Ilustración 28. Esquema preliminar de diseño	45
Ilustración 29. Maquina comercial para enderezado de fleje. Fuente: http://www.konturatools.cz/images/produkty/prilohy/2013-04-17-10-38-44-rovnani-pasu-ang.pdf	45
Ilustración 30. Software Autodesk Inventor. Fuente: http://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional	46
Ilustración 31. Software Cade Simu. Fuente: http://cade-simu.programas-gratis.net/	47
Ilustración 32. Software Fluid Sim. Fuente: https://fluidsim.uptodown.com/windows	47
Ilustración 33. Proceso de aplicación de fuerza de doblado. Fuente: Elaboración propia.	53
Ilustración 34. Relación diámetro-paso. Fuente: elaboración propia	55
Ilustración 35. Fuerzas y momentos soportados por el eje. Fuente: Elaboración propia.....	65
Ilustración 36. Diagramas de fuerza cortante Rodillo de arrastre, planos YZ, XZ. Fuente: Elaboración propia	65
Ilustración 37. Diagrama momento flector Ra plano YZ, XZ. Fuente: elaboración propia.	66
Ilustración 38. Diagrama de momento flector Rodillo de arrastre. Fuente Elaboración propia..	67
Ilustración 39. Resistencia a la tensión Su. Fuente: (Mott, 2006)	67
Ilustración 40. Factor de tamaño. Fuente: (Mott, 2006)	69
Ilustración 41. Parámetros de entrada selección del rodamiento agujas. Fuente: Elaboración propia.....	70
Ilustración 42. Designación del rodamiento seleccionado. Fuente: Elaboración propia.	71
Ilustración 43. Datos de salida rodamiento. Fuente: Elaboración propia	71
Ilustración 44. Modelo platina lateral. Fuente: Elaboración propia.....	72
Ilustración 45. Modelo soporte de regulación penetración. Fuente: Elaboración propia	72
Ilustración 46. Análisis modelo enderezador. Fuente elaboración propia.....	73
Ilustración 47. Modelo platina superior. Fuente: Elaboración propia	73
Ilustración 48. Modelo sistema de enderezado. Fuente: elaboración propia.....	74
Ilustración 49. Selección motorreductores sinfín corona NORD. Fuente: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/G1035_60Hz_ES_2908.pdf	75
Ilustración 50. Sistema de transmisión al rodillo de arrastre. Fuente: Elaboración propia.	77
Ilustración 51. Selección cadena por potencia de diseño. Fuente: elaboración propia.....	78
Ilustración 52. Parámetros Catarina. Fuente: elaboración propia.	78
Ilustración 53. Condiciones de trabajo cadena. Fuente: elaboración propia.....	79
Ilustración 54. Gráfico operación cadena. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 55. Esquema de control enderezado y corte. Fuente: Elaboración propia	81
Ilustración 56. Esquema de control variador de velocidad. Fuente: Elaboración propia	81
Ilustración 57. Esquema de potencia enderezado y corte. Fuente: Elaboración propia.....	82
Ilustración 58. Esquema hidráulico. Fuente: Elaboración propia.....	83
Ilustración 59. A. Estructura surtidor B. Surtidor de fleje. Fuente: Elaboración propia.....	84

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Ilustración 60. Estructura de enderezado-corte. Fuente: Elaboración propia	85
Ilustración 61. Diseño máquina de enderezado por rodillos. Fuente: Elaboración propia.....	86
Ilustración 62. Comparativo enderezado convencional vs enderezado por rodillos. Fuente: Elaboración propia.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Longitudes rollo FAT. Fuente: http://www.cibagar.com/cibagar/app/productos/productos.asp?id_familia=fle&id_categoria=3&idioma=es	16
Tabla 2. Masa de FAT por metro. Fuente: http://www.cibagar.com/cibagar/app/productos/productos.asp?id_familia=fle&id_categoria=3&idioma=es	17
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los principales sistemas de enderezado. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 4. Relación diámetro-número de rodillos típica. Fuente: http://www.konturatools.cz/images/produkty/prilohy/2013-04-17-10-38-44-rovnani-pasu-ang.pdf	34
Tabla 5. Resumen general de las cotizaciones. Fuente: Elaboración propia.....	49
Tabla 6. Parámetros de diseño. Fuente: Elaboración Propia.....	50
Tabla 7. Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 9. Resumen funcional sistema de enderezado de pedal para (50cm) de fleje, Troqueltec SAS. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 10. Resumen funcional sistema de enderezado semi-automático por rodillos para (50cm) de fleje. Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 11. Propiedades materiales AISI 4140 para rodillos. Fuente: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=84595a386f7e4e519945edd3e46f751c	64
Tabla 12. Factor de material Cm. Fuente: (Mott, 2006)	68
Tabla 13. Factores de confiabilidad Cr. Fuente: (Mott, 2006)	68
Tabla 14. Selección valor Kt. Fuente: (Mott, 2006)	69
Tabla 15. Matriz de evaluación proveedores	87
Tabla 16. Listado precio de materiales, fabricación y mano de obra. Fuente: Elaboración Propia.	88

Código	
Versión	
Fecha	

INTRODUCCIÓN

La industria metalmecánica de hoy suele realizar el corte de fleje desde una bobina de lámina metálica, gracias a su fácil almacenaje y disminución de tiempos. Al ser enrollada, y por la naturaleza del material, éste proceso genera curvaturas permanentes en las láminas que deben ser enderezadas para la mayoría de aplicaciones finales.

Encontramos entre algunas de las técnicas de enderezado de fleje metálico la deformación por rolado, doblado, prensado e incluso por medio de alta temperatura, estos métodos en su mayoría son posteriores al corte, en la actualidad el proceso más utilizado es el enderezado por rodillos, los cuales someten el material a deflexiones alternadas, generando una deformación plástica sucesiva hasta enderezarlo.

El proceso de obtención de flejes el cual es objeto del proyecto, realiza cada paso de forma manual y separada. El enderezado de fleje metálico templado por impacto de flexión, es ampliamente usado en pequeñas y medianas empresas metalmecánicas, dadas las condiciones operativas y de accesibilidad de éstas.

Para el desarrollo de este trabajo se parte de la hipótesis de una planta de producción metalmecánica en la cual se utiliza material de fleje metálico, por lo que se cuenta con una enderezadora de pedal Ilustración 1, en la que se debe pasar el fleje varias veces por un dado enderezador, en dos direcciones hasta conseguir un enderezado óptimo, según el criterio del operador. Esto se hace luego de cortar con una cizalla a la medida que se requiere un tramo de material a enderezar.



Ilustración 1. Enderezadora de pedal (Troqueltec SAS, s.f.). Fuente: Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En ocasiones se tienen condiciones especiales que requieren de un diseño en particular, debido al espacio, requerimientos y/o algunas restricciones puntuales de manufactura, como especificaciones del material con el cual se debe trabajar, lo anterior hace que el proceso o maquinaria requerida difícilmente se encuentre en el comercio, y se implementen sistemas adaptados que no son ideales para la función requerida, en el caso de un sistema de enderezado con máquina de pedal el trabajo es demorado y costoso por inversión de tiempo, sumado a que demanda un esfuerzo que produce alta fatiga del operador al accionar repetidamente el pedal, de igual manera no siempre se logra la homogeneidad del enderezado, dado que el criterio puede cambiar dependiendo de la habilidad de operario para realizar repetidamente y de manera siempre igual en proceso. Con éste proyecto se pretende diseñar un sistema de enderezado ajustado a las condiciones técnicas, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del fleje de acero templado y rango de medidas requeridas para éste proceso en particular. Ante lo cual se desea plantear un proceso semiautomático basado en una máquina enderezadora de fleje metálico que realice cada una de las etapas de una manera más rápida y eficiente, con la intervención del operador solo para iniciar y parar el proceso. El desarrollo de éste nuevo sistema impactará positivamente el proceso en el cual se implemente, principalmente en tiempo de operación y calidad.

1.1 Organización del trabajo

El presente trabajo se compone de cuatro capítulos, los cuales se describen a continuación:

Capítulo 1 – Introducción.

En el primer capítulo se presenta una introducción al trabajo de grados, se realiza una descripción general del proyecto para que el lector comprenda de qué se trata, se muestran el objetivo general y los objetivos específicos con los que se alcanzará el desarrollo del trabajo.

Capítulo 2 – Marco teórico.

En el segundo capítulo se expone el marco teórico, en el cual se recopilan los principales conceptos básicos requeridos para el desarrollo del proyecto, como materiales, elementos y recursos necesarios para el diseño de la máquina, se presenta un estado del arte del enderezado de fleje metálico, abordando cada una de las diferentes técnicas usadas para éste.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Capítulo 3 – Metodología.

En el tercer capítulo se presenta la metodología, aquí se realiza una descripción de cómo se logra llevar a cabo los objetivos del proyecto, criterios de selección de la técnica de enderezado a desarrollar y los recursos empleados para llevar a cabo el diseño.

Capítulo 4 – Resultados y discusión.

El cuarto capítulo se contiene los resultados y discusión, donde se definen los parámetros de operación del sistema, se efectúan los cálculos matemáticos requeridos para diseñar los principales componentes de la máquina y el delinea el sistema eléctrico e hidráulico para el funcionamiento del proceso, finalmente se proyectan los costos de fabricación para los componentes que integran el sistema para una posible fabricación.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar una máquina enderezadora de fleje metálico por rodillos, que integre dentro del proceso las etapas de: suministro de fleje enrollado, enderezado, medición y corte.

Objetivos Específicos

- Definir las especificaciones objetivo de operación de la máquina enderezadora de fleje metálico.
- Diseñar los sistemas mecánico, eléctrico y de control de la máquina enderezadora de fleje metálico.
- Elaborar información técnica y económica detallada de los sistemas mecánico, eléctrico y de control para una posible fabricación de la máquina enderezadora de fleje metálico.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El Acero

El acero es una aleación con base atómica del elemento hierro con otros elementos que pueden ser, tanto metálicos como no-metálicos. Los elementos no-metálicos que se utilizan normalmente en los aceros son entre otros, el carbono y el silicio. Por otro lado, el manganeso y el cromo son elementos metálicos que también son usualmente utilizados.

El elemento de aleación más importante para el acero es el carbono (Instituto de la siderurgia, 2002). Dependiendo de la cantidad y el tipo de los elementos de aleación de un acero se pueden obtener o resaltar características deseables y evitar aquellos que sean indeseables en ciertas aplicaciones (CAP. Compañía de Acero del Pacífico S.A., 2000).

2.2 Fleje metálico

El fleje metálico se define como un tramo continuo de metal laminado cuya sección transversal es rectangular y presenta una proporción de ancho (A) mucho mayor a la del espesor de la lámina (s) tal como se observa en la Ilustración 2, generalmente en el mercado el fleje se distribuye en rollos o bobinas de lámina, de tamaños y anchos que varían según la disposición final, de igual manera las características mecánicas y composición del aleaciones químicas se definen según el propósito final del material.

Los flejes de acero se clasifican según la proporción de espesor respecto del ancho de la siguiente manera: los flejes cuyo espesor es superior a 5mm se denomina platina, los inferiores se conocen como lamina; las platinas debido a su espesor proceden generalmente de un proceso de laminado en caliente (HR) mientras que las bobinas de lámina suelen ser laminadas en frío (CR).

Código	
Versión	
Fecha	

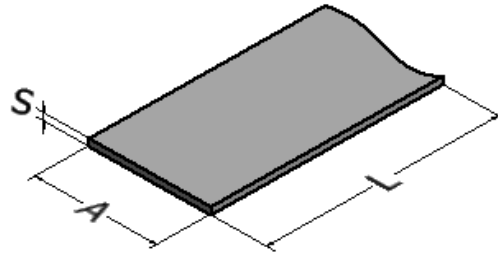


Ilustración 2. Tramo de fleje metálico. Fuente: Elaboración propia

2.2.1 Flejes de acero para troqueles (FAT)

Los flejes de acero para corte, son láminas especialmente diseñadas para la fabricación de herramientas de corte principalmente troqueles (Troqueltec SAS), con el fin de cumplir las particularidades mecánicas y geométricas necesarias para dicha función, obtenidos por medio de laminación en frío que optimiza sus propiedades de tenacidad y dureza, generalmente acompañado de un bonificado y tratamiento térmico según su uso final, para lograr la geometría de corte se le realiza un perfilado y posterior afilado tal como se aprecia en la Ilustración 3, con acabados que varían según las exigencias del proceso (Böhler-Uddeholm, 2011); las propiedades mecánicas del material varían según la aplicación y el diseño del fabricante, la compañía Sandvik fabrica y distribuye flejes de acero para troqueles con prestaciones de alta exigencia tales como el sandvik 0C404 strip Steel¹, para corte de materiales plásticos, fibras sintéticas y papel (Sandvik materials technology, 2004).

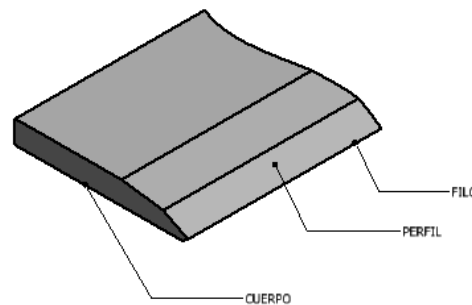


Ilustración 3. Fleje de acero para Troqueles. Fuente: Elaboración propia.

¹ <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=a6393c6cb14144f2ac1d6b26515a1950>

2.2.2 Presentaciones comerciales fleje de acero para corte

Generalmente el fleje de acero para corte se encuentra en dos presentaciones, regletas enderezadas a longitud de 1.5 m y rollos o bobinas de fleje tal como la Ilustración 4.

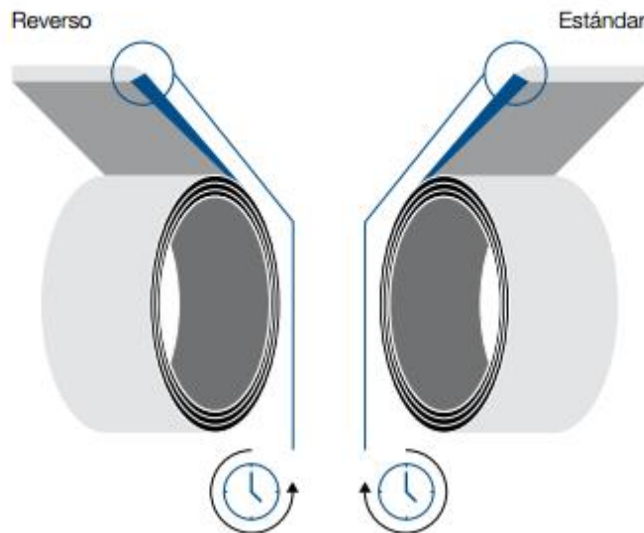


Ilustración 4. Rollo de FAT comercial. Fuente: http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Lineas_de_corte.pdf

Tabla 1. Longitudes rollo FAT. Fuente: http://www.cibagar.com/cibagar/app/productos/productos.asp?id_familia=fle&id_categoria=3&idioma=es

Grosor (mm)	Longitud (m)
1.5	100 m Max.
2.0	100 m Max.
2.5	90 m Max.
3.0	80 m Max.
3.5	70 m Max.
4.0	60 m Max.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 2. Masa de FAT por metro. Fuente:

http://www.cibagar.com/cibagar/app/productos/productos.asp?id_familia=fle&id_categoria=3&idioma=es

Dimensión (mm)	Kg/m	Dimensión (mm)	Kg/m
19x2.0	0.27	36x2.5	0.65
19x2.5	0.33	36x3.0	0.74
19x3.0	0.37	36x3.5	0.88
19x4.0	0.49	40x2.5	0.68
20x2.0	0.29	40x3.0	0.86
20x2.0	0.45	43x2.5	0.75
32x2.0	0.47	43x3.0	0.94
32x2.5	0.57	43x3.5	1.05
32x3.0	0.66	43x4.0	1.18
32x3.5	0.72	50x2.5	0.98
32x4.0	0.86	50x3.0	1.10

2.3 El Enderezado

A través de diferentes técnicas de trabajo se puede lograr el enderezado de materiales que fueron torcidos o flexionados y regresarlos su posición original nuevamente. En las chapas, tubos y perfiles deformados, torcidos o tensionados se presentan estiramientos y aplastamientos en el material (Zierenberg). En los radios exteriores de flexiones se presentan tensiones de tracción a través del estiramiento del material y en los radios interiores de flexiones se presentan tensiones de presión a través del aplastamiento del material (Enrique, Coneo, Antonio, & Yepes, 2014).

2.3.1 Enderezado de fleje metálico

Debido a las tensiones internas y desigualdades, las cuales tienen su origen desde laminado, corte, el proceso de enrollado y transporte, el material se ve sometido a una serie de condiciones que inciden directamente en sus características, lo que hace necesario en la gran mayoría de los procesos, que éste tenga que ser enderezado antes de llegar a un propósito final.

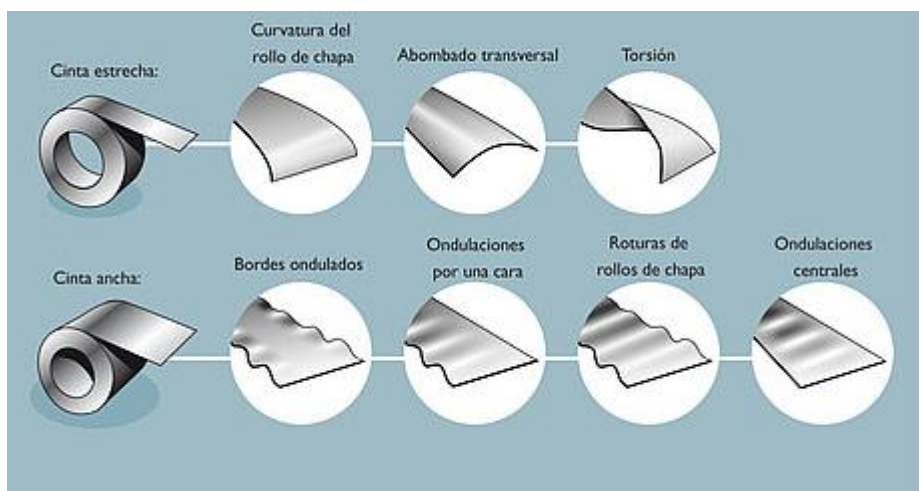


Ilustración 5. Deformaciones del fleje metálico. Fuente: <http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/bonbina.html>

2.3.2 Principio de alteración de la estructura del material a enderezar

La capacidad de flexión de un material depende de su ductilidad, muchos metales y aleaciones se pueden curvar en frío, sin afectar sus propiedades mecánicas. El estrés interno que presenta un material se evidencia por sus deformaciones o características geométricas no homogéneas, el enderezado pretende nivelar las tensiones internas y lograr un material homogéneo y plano, esto es en grano los átomos se ven obligados a pasar de su posición natural o tensionada a otra nueva con la planitud requerida. Para lograr el enderezado del material, éste se debe llevar por encima de su límite elástico (Guan, Zang, Wu, & Qin, 2014). Si el material solo es sometido a un esfuerzo menor, éste regresará a su posición inicial, a lo que se le conoce como elasticidad recuperadora.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.3 Proceso de enderezado de fleje metálico

En 1876, Caleb Marshall y Edmund A Harvey patentaron las primeras máquinas enderezadoras que se usaron en fleje metálico, éstas constaban de sistemas de cinco rodillos que eran operados desde una manivela, y regulados por tornillos (Marshall, 1876). Un proceso de enderezado de metal por rodillos es una técnica destinada a mejorar la calidad de la geometría del metal base enrollado, en el cual se consigue aplanar el metal, eliminando así deformaciones producidas por el proceso de enrollamiento (Lee, Huh, Bae, Lee, & Kim, 2007). La calidad del aplanado se puede lograr dependiendo de los parámetros del proceso, con éstos se busca reducir o eliminar la tensión residual y la deformación plástica del material, propias de sus características y del proceso de enrollado (Yali & Herong, 2012).

Durante el proceso de enderezado el material se dobla repetidamente en un lado, ocasionando que por el otro se estire ligeramente, éste estiramiento reduce la presión residual a la tracción y hace que el fleje quede derecho (Cetinkaya, 2007). Una de las técnicas más usadas y eficientes es la del uso de rodillos, con los cuales a través de la combinación de diferentes complementos se obtiene un aplanado de más calidad (Yin, Zhao, Wang, Wan, & Li, 2014). Las máquinas enderezadoras de rodillos buscan mejorar cada vez más exigencias en el enderezado de lámina de metal, varias máquinas enderezadoras modernas han sido desarrolladas. MATSUZAKI, estudió un nivelador en caliente, el cual podría ser cambiado perfectamente por un sistema más estable, que consta de dos amortiguadores dinámicos con un analizador numérico para controlar de modo que no se genere desgaste poligonal de los rodillos (Schleinzer & Fischer, 2001). BELOBROV y TITARENCO, introdujeron también una máquina enderezadora de clase mundial a través de la compañía NKMS Company, a su vez que BELOBROV aportó el diseño de las nuevas especificaciones para la nueva línea de la máquina enderezadora Plate-Straightening Machines (PSMs) de Severstal Company.

En otras palabras, la nueva generación de máquinas enderezadoras de lámina y/o fleje metálico ha expandido su rango de especificaciones y operación como: espesores, ancho, y la tensión de enderezado. El desarrollo se ha logrado automatizando cada vez más el proceso, mejorando la fiabilidad de los componentes y mecanismos, teniendo como resultado una reducción en las tensiones internas de los platos y rodillos.

2.3.4 Técnicas de enderezado de fleje metálico

Las causas de las deformaciones de los materiales son las tensiones internas, el calentamiento o enfriamiento unilateral, los choques, los golpes, la mecanización unilateral por arranque de viruta, procesos de enrollado o cualquier proceso que efectúe sobre el material un impacto tal que supere su límite plástico de una manera desigual en las fibras. En el enderezado se corrigen

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

las deformaciones halladas en el material, se eliminan tensiones residuales, y se logra un material más homogéneo. La pieza es llevada a una forma plana, por medio de flexiones, presión o alargamiento.

2.3.4.1 Enderezado por impacto repetido de flexión

La pieza se lleva a su forma plana, golpeándola (Martillo), o por presión (Punzón) de una manera sucesiva en el lado opuesto a la curvatura indeseada, según en espesor del material, se efectúa en frío o en caliente, este método por lo general genera tensiones residuales que pueden afectar las propiedades del material, así como su uniformidad.

2.3.4.2 Enderezado en plancha o prensa a presión

Ésta consiste en una plancha en la cual se inserta en material deformado con las imperfecciones de enderezado, y se cierra a presión durante un tiempo, para que sea más efectivo se debe calentar en material y así sea más fácil el enderezado.

2.3.4.3 Enderezado por calentamiento

Se calienta la parte convexa de la pieza, es decir la cara más larga, de éste forma se aumenta la curvatura, lo que hace que aparezcan grandes tensiones de compresión, al llegar al límite de fluencia la presión interior produce un encogimiento del lado más largo, a enfriarse éste las partes aplastadas se contraen por lo que la pieza se endereza por sí misma.

2.3.4.4 Enderezado por rolado:

La roladora es una máquina que genera cilindros a partir de láminas planas, no obstante al graduarla de la forma adecuada se puede lograr un enderezado partiendo de la base que se busca contrarrestar una curvatura preexistente tal que el resultado final se consiga que la lámina presente una plenitud deseada. En general, existen dos tipos de roladoras:

Roladora de rodillos paralelos:

Este tipo de sistema cuenta con dos rodillos que son dispuestos paralelos, que giran a la misma velocidad y en sentido opuesto al entrar en contacto, de estos uno es conectado al sistema de transmisión y por lo general este cuenta con un recubrimiento de caucho, tal que la recibir presión radial desde el rodillo superior de acero, el caucho intenta calcar o tomar la forma de su curvatura, al mismo tiempo le transmite el torque necesario para hacerlo girar y pasar la lámina entre ellos logrando así generar una curvatura proporcional al hundimiento que presente el rodillo de acero respecto al de caucho, tal como se ve en la Ilustración 6 ; la curvatura generada solo puede tener un sentido, y no puede ser restituida salvo que se cuente con otro par de rodillos que cumplan la misma función pero con posición invertida.

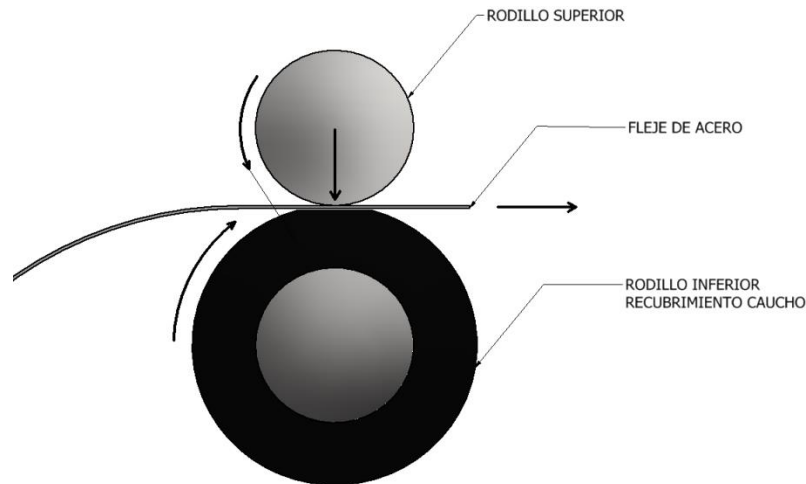


Ilustración 6. Roladora rodillos paralelos. Fuente: Elaboración propia

Roladora de rodillos alternados:

La disposición de rodillos alternados permite graduar de manera más controlada la variación del radio de curvatura en generado en el fleje mientras pasa a través de los rodillos, estas máquinas generalmente presentan de tres a cinco rodillos dispuestos según la aplicación que en su mayoría consiste en la generación de cilindros a partir de láminas planas, su desventaja frente al proceso de enderezado radica en que solo puede realizar la curvatura en un sentido es decir entre el rodillo que empuja el fleje contra los rodillos de apoyo.

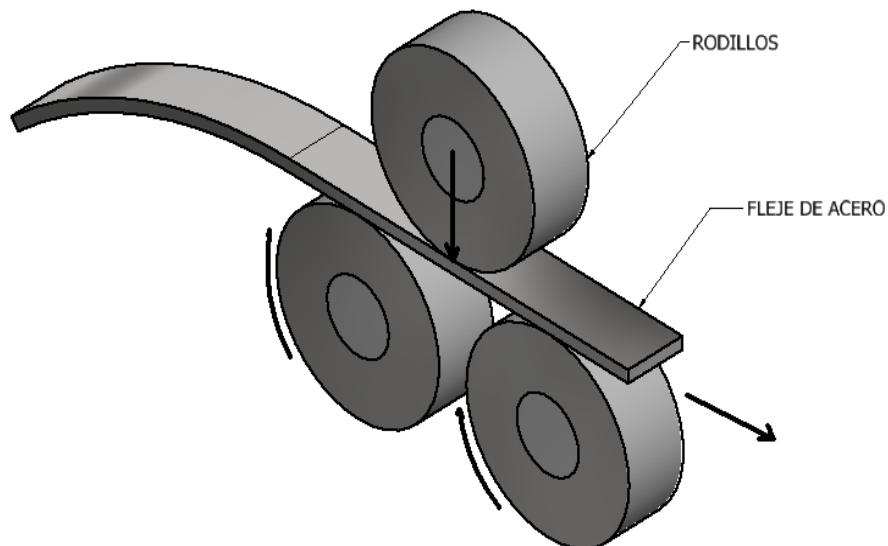


Ilustración 7. Roladora de rodillos alternados. Fuente: Elaboración propia

2.3.4.5 Enderezado por estirado

El enderezado por estirado consiste en tomar el material desde dos puntos y estirarlo hasta superar su límite de cadencia en todas las fibras del fleje homogenizando de este modo la tensión interna que puede presentar el material en puntos específicos y alarga el material de 0.3 a 0.5% con lo que se logra un a baja afectación de las propiedades del material, este método presenta la mayor precisión en cuanto a nivelación, ondulaciones y arrugas, permite un rango de aplicación para materiales de prácticamente cualquier espesor (Leveltek Processing, LLC). La principal desventaja del enderezado por estirado radica en que solo puede trabajar por tramos de fleje permitiendo el avance y enderezando un nuevo tramo.

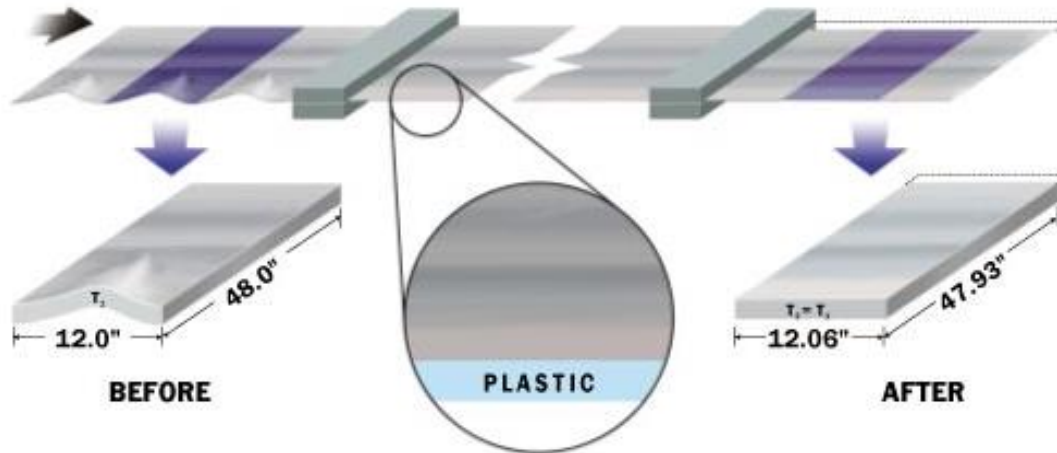


Ilustración 8. Principio de enderezado por estirado. Fuente: <http://leveltek.com/stretcher-leveling/benefits-differences/>

2.3.4.6 Enderezado por rodillos múltiples alternados

El enderezado por rodillos múltiples consiste unos cilindros normalmente ubicados en dos líneas, alternadas los superiores respecto de los inferiores, los cuales enderezan la lámina al pasar entre de éstos obligando con su disposición escalonada a tomar una forma sinusoidal decreciente que avanza hasta salir del sistema, esto es, someter el fleje a deflexiones sucesivas y en dirección opuesta a su curvatura previa que es de mayor intensidad al inicio y disminuye en la medida que avanza hacia la salida hasta lograr su punto óptimo en el último par de rodillos, dejando la lámina plana y tensiones reducidas. Éste sistema es muy usado debido a la rapidez y eficiencia, con la que se puede desarrollar el proceso, además que por sus características, permite fácilmente una automatización del sistema, lo que ahorraría tiempo y personal para operar.

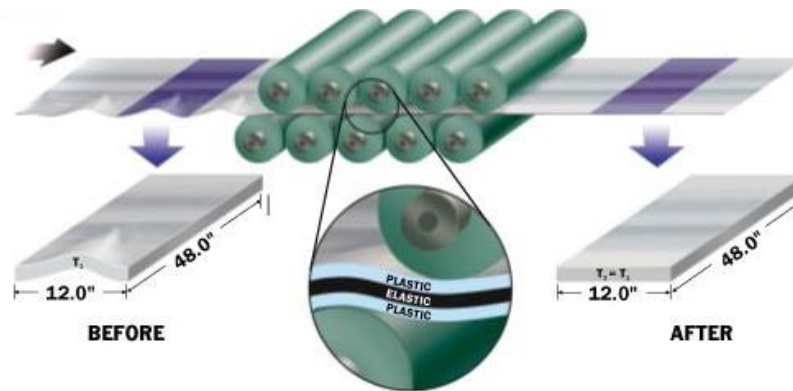


Ilustración 9. Principio de enderezado por rodillos múltiples. Fuente: <http://leveltek.com/stretcher-leveling/benefits-differences/>

La fuerza aplicada por los rodillos ejerce una flexión plástico-elástica en el material, con lo cual la deformación plástica causa un cambio permanente en la forma del material mientras que la elástica en el centro de la lámina lo hace de manera temporal (Jp Steel Plantech Co., 2013).

Las máquinas de enderezado por rodillos múltiples, nivelan de manera rápida y sencilla y cuentan con un amplio margen de aplicación con espesores de 0.5 a 60mm (ARKU Maschinenbau GmbH), se encuentran con variantes de diseño y tecnología implementada desde la regulación manual hasta regulación automática para detección de deformaciones en la superficie y sistemas de control PID del proceso, este es el método más confiable en la actualidad, y su grado de eficacia aumenta de manera proporcional al número de rodillos, su diseño varía también según el ancho de la lámina siendo requeridos apoyos tangenciales a los ejes de enderezado tal como muestra la Ilustración 10.

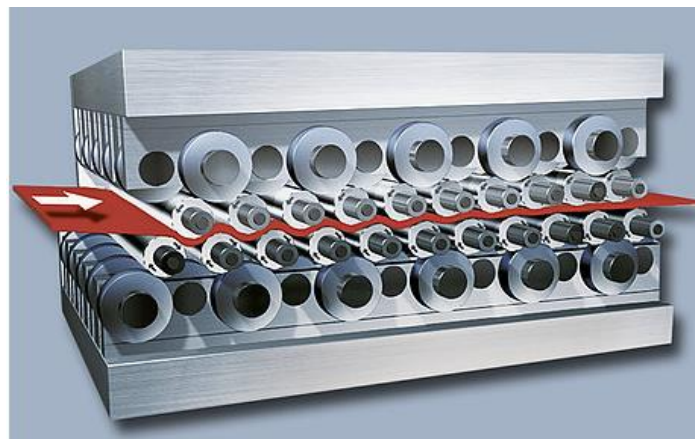


Ilustración 10. Enderezador de rodillos múltiples para láminas anchas. Fuente: <http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/procesos-de-enderezado.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.3.4.7 Comparativo entre los métodos de enderezado

El método que se emplea para el enderezado de un material conlleva desde la disponibilidad del recurso fundamental como el martillado, hasta los requerimientos más exigentes en calidad del enderezado y homogeneidad del material como el estirado, siendo los sistemas de rodillos un término medio para este ámbito, con un nivel de calidad que puede ser mejorado aumentando el número de rodillos y nivel de control de proceso (Linfa Yan, 2008); el factor tiempo y eficiencia juega también un papel importante y diferenciable según el método aplicado; en la Ilustración 11 se muestra la variación de tiempo requerido según el método y en la Tabla 3 se pueden ver algunas ventajas y desventajas de éstos.

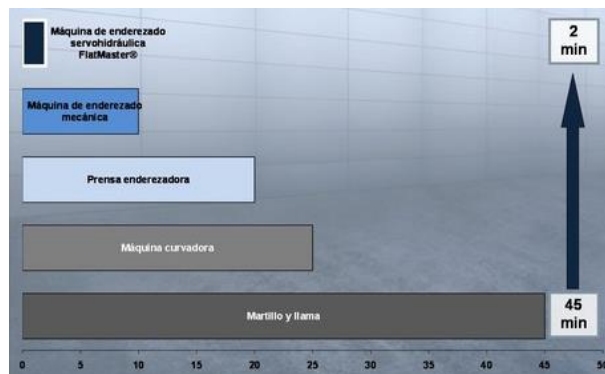


Ilustración 11. Comparativo tiempo métodos de enderezado. Fuente: <http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/procesos-de-enderezado.html>

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los principales sistemas de enderezado. Fuente: Elaboración propia.

COMPARATIVO PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS SISTEMAS DE ENDEREZADO

Enderezado por impacto de flexión.	Ventajas: Económica, necesita poca energía. Desventajas: Es manual, Se necesita desarrollar la habilidad, causa fatiga a operario, el enderezado puede no ser uniforme, genera tensiones residuales que pueden afectar las propiedades del material, tiempo de proceso largo.
Enderezado en plancha o prensa a presión.	Ventajas: Semi-automática, enderezado uniforme. Desventajas: En ocasiones requiere calor, consumo medio de energía, montaje y componentes hidráulicos costosos, tiempo de proceso medio.
Enderezado por calentamiento.	Ventajas: Manual o semi-automática, enderezado uniforme.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

	Desventajas: Alto consumo de energía, el material queda caliente, la temperatura puede cambiar propiedades del material, tiempo de proceso medio.
Enderezado por rolado.	Ventajas: Semi-automático, enderezado en frío, enderezado uniforme, tiempo de enderezado bajo. Desventajas: En ocasiones se debe pasar el material en más de una ocasión, ya que no alcanza a ser enderezado totalmente y queda con alguna curvatura, bajo costo relativo.
Enderezado por estirado.	Ventajas: Semi-automático, enderezado en frío, enderezado uniforme. Desventajas: Consumo de energía medio, montaje y componentes hidráulicos costosos, tiempo de proceso medio.
Enderezado por rodillos múltiples alternados.	Ventajas: Semi-automático, enderezado en frío, enderezado uniforme, tiempo de enderezado bajo, bajo costo relativo. Desventajas: Al tener varios pasos de rodillos el material no necesita ser pasado de nuevo, generalmente sale derecho y uniforme.

2.4 Deformación elástico-plástica

Las alteraciones que sufre un material varían según las magnitudes de tensiones a las que se ve sometido (Budynas & Nisbett, 2008), tal como se observa en Ilustración 12, esta pueden generar en el mismo modificaciones o deformaciones geométricas o estructurales de diversos tipos en la medida que aumenta la tensión hasta el punto en el cual el material no soporta llegando a su punto de fractura o rotura; se reconocen dos puntos fundamentales que permiten el análisis de este proceso la deformación elástica y la deformación plástica (Mott, 2006).

Deformación elástica:

Al aplicar una tensión sobre un material con una determinada característica geométrica la cual se puede ver alterada de manera proporcional a la magnitud de la tensión, pero, una vez la tensión desaparece, el material recupera su estado inicial, esto gracias a que la energía potencial elástica almacenada se libera.

Deformación plástica:

Al aplicar una tensión sobre un material con unas características geométricas y estructurales determinadas y dicha tensión es tal que supera el límite elástico generando deformación permanente se dice que ha generado una deformación plástica.

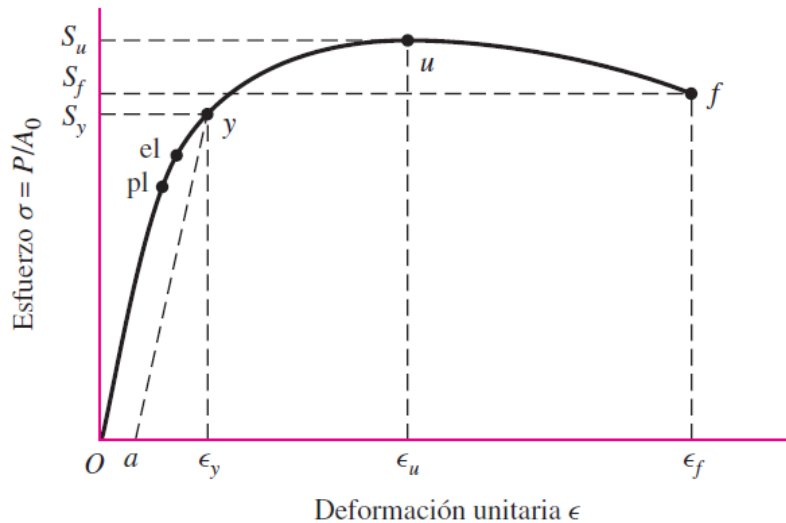


Ilustración 12. Curva esfuerzo deformación típica acero. Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

2.5 Análisis de flexión vigas de sección rectangular

Si se analiza el comportamiento de una viga sometida a flexión pura, valiéndose de un esfuerzo tal que lleva el material fuera de su límite de proporcionalidad y se supera su límite de fluencia asumiendo que se somete las fibras a una tensión o compresión simple y la sección transversal de la viga se conserva geoméricamente, esto es, una distribución de deformación lineal del material o flexión elástica, resulta la fuerza necesaria para doblarlo suficiente y superar el límite elástico del material considerando la distribución de esfuerzos lineal sobre su sección transversal (Bio-bio, Ingeniería, Héctor, & Bustamante, 2010).

2.5.1 Momento de inercia de figuras planas

La inercia es la propiedad de la materia de resistir a cualquier cambio en su movimiento, ya sea en dirección o velocidad. El momento de inercia realiza en la rotación un papel similar a la de la masa en movimiento lineal, dado esto el momento de inercia es masa rotacional y depende de cómo se distribuya la masa en un objeto, a una mayor distancia entre ésta y el centro de rotación, se tendrá un mayor el momento de inercia. El momento de inercia tiene relación con

las tensiones máximas que se producen por los esfuerzos de flexión en un elemento estructural, por lo cual éste valor determina la resistencia máxima de un elemento estructural que es sometido a flexión, en conjunto con la propiedades del material.

2.5.2 Momento flector para una sección rectangular

En el instante en que el momento de flexión sobrepasa el valor dado en la (ecuación 1) de momento flector, las fibras en la superficie del material empiezan a ceder, tanto en la parte superior como inferior y su diagrama de tensión natural para un material es modificado.

$$M_f = \sigma_y \frac{BH^2}{6} \quad (1)$$

Donde:

M_f	=	Momento flector	Nm
H	=	Altura, Espesor del Material	m
σ_y	=	Límite de fluencia	Mpa

El estado elástico-plástico se presenta cuando se aumenta el momento de flexión y la deformación plástica se dirige hacia el interior de la viga.

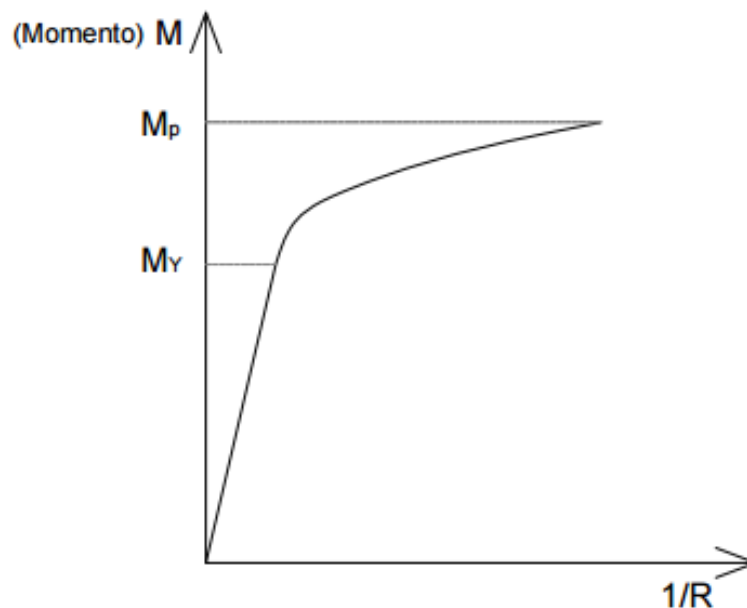


Ilustración 13. Gráfica del momento plástico y momento flector. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)

2.5.3 Fuerza de doblado entre dos puntos de apoyo

La disposición de un tramo de fleje sobre dos apoyos de reacción en sus extremos, y sobre el cual se aplica una carga, tal que, supere su límite elástico genera una curvatura permanente la cual varía con el desplazamiento que la fuerza superior ejerce, tal como

2.5.3.1 Diagrama cuerpo libre viga simplemente apoyada

El análisis se obtiene del modelo de una viga simplemente apoyada sobre dos reacciones, la cual recibe una carga en el centro, tal como se observa en el diagrama de cuerpo libre.

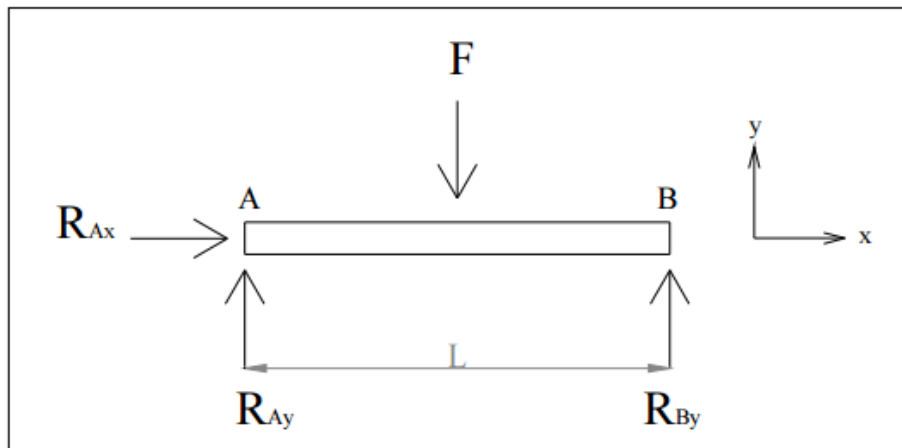


Ilustración 14. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)

Se sabe que las reacciones de apoyo dependen de la fuerza (F), estas se dan con las siguientes ecuaciones de equilibrio estático y momento flector.

$$M_f = \frac{\sigma_f \cdot I}{y} \quad (2)$$

Dónde:

M_f	=	Momento flector	Nm
σ_y	=	Límite de fluencia	Mpa
y	=	Distancia al eje neutro	m
I	=	Momento de inercia	Kg/m ²

2.6 Análisis de Momento de fuerza

El torque es una fuerza de momento, que se transmite a través del giro de los rodillos hacia el fleje como es el caso de sistemas de enderezado por rodillos que se muestra en la (ecuación 4).

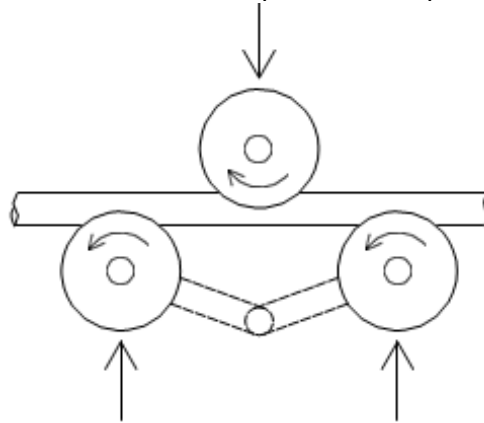


Ilustración 15. Torque en los sistemas de rodillos. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)

Ecuación básica para el análisis de torque en un eje sometido a fricción se calcula como

$$T = F_f \cdot \frac{D}{2} \quad (3)$$

Dónde:

- T = Torque Nm
- F_f = Fuerza de fricción N
- D = Diámetro rodillos m

Se puede representar en la Ilustración 16, el modo de generarse la fuerza de roce a través de su coeficiente.

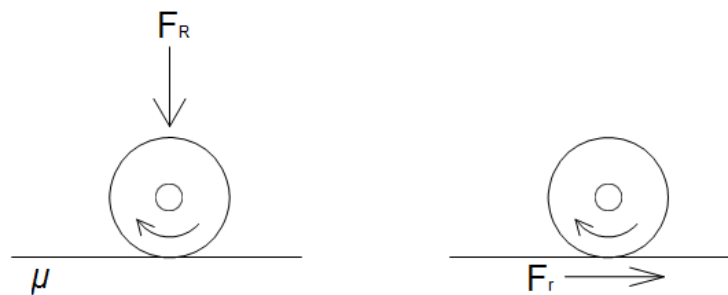


Ilustración 16. Fuerza de roce a través de su coeficiente. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)

2.6.1 Torque distribuido

El torque depende de la fuerza normal ejercida y la fricción actuante entre los elementos, la distribución del par torsional se intercambia por medio de un factor de distribución entre los elementos involucrados.

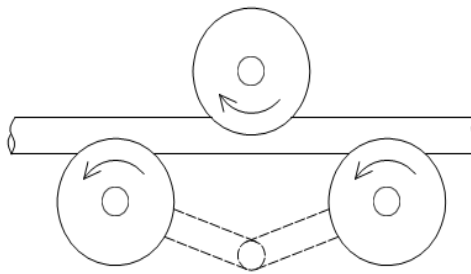


Ilustración 17. Torque distribuido. Fuente: (Bio-bio et al., 2010)

$$T = M_R + 2M_R + M_R$$

(4)

Dónde:

T = Torque Nm
 M_R = Momento interno rodillo Nm

2.7 Parámetros de diseño en sistemas de enderezado por rodillos múltiples

2.7.1 Relación de plastificación

El cambio en que se genera en un material metálico, cuando llega al punto en que no se presenta una recuperación elástica significativa se forma cuando la relación de plastificación supera el 70%, cuando la tensión de fluencia a la que se somete el material es mayor se logra el enderezado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

(Jp Steel Plantech Co., 2013). La relación de plastificación se puede analizar según el espesor del material y el porcentaje de este que supera el límite elástico (Beijing, Mill, & Iron, 2015), tal como se observa en la Ilustración 9.

$$R_p = \frac{2H_p}{H} \times 100\% \quad (5)$$

Dónde:

R_p	=	Relación plástica	%
H_p	=	Región plástica del espesor del material	m
H	=	Altura, espesor de fleje	m

2.7.2 Límite elástico de curvatura fleje

El radio de curvatura que se genera sobre el fleje durante el proceso de enderezado, aumenta gradualmente sometiendo el material a compresión y tensión sucesivamente disminuyendo su intensidad en cada rodillo (Handbook & Heidelberg, 1998), tal como muestra la Ilustración 18, Donde:

$$R_1 < R_2 < R_3 < R_4$$



Ilustración 18. Radio de curvatura del fleje entre el rodillo.

Fuente: <http://www.konturatools.cz/images/produkty/prilohy/2013-04-17-10-38-44-rovnani-pasuang.pdf>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

El factor de estiramiento (Yong-qin et al., 2012), es comúnmente utilizado para facilitar el análisis de la relación de plastificación, este resulta ser el inverso del porcentaje de la deformación elástica del fleje $(1 - R_p)$ y se evalúa en la (ecuación 7).

$$S = \frac{1}{1 - R_p} \quad (7)$$

Dónde:

S	=	Factor de estiramiento	%
R_p	=	Relación plástica	%

2.7.3 Número de rodillos

Las máquinas de enderezado por rodillos se pueden encontrar desde un número mínimo de 5 rodillos suficientes para enderezado en procesos en los cuales no hay exigencias de estrés residual en el material o alta precisión de planitud; procesos en los cuales se tienen altas exigencias se pueden encontrar enderezadores de hasta 21 rodillos (Handbook & Heidelberg, 1998).

2.7.4 Relación Diámetro y paso de rodillos

La influencia que el diámetro de los rodillos causa en el material se ve reflejada en la ecuación, (Jp Steel Plantech Co., 2013), El rodillo necesita un tamaño lo menor posible para lograr transmitir un radio de curvatura proporcional al espesor del material tal que permita superar su límite elástico de curvatura y generar una deformación permanente. La limitante que se presenta como mínimo es que el rodillo debe estar en capacidad de soportar la carga de trabajo si verse afectado por los esfuerzos recibidos durante el proceso.

$$D \leq 1 - R_p * \left(\frac{E * H}{\sigma_f} \right) \quad (8)$$

Dónde:

σ_f	=	Límite de fluencia material	Mpa
------------	---	-----------------------------	-----

El paso de rodillos es la distancia que se halla del centro un eje al siguiente en la misma fila, lo anterior deja como resultado que el diámetro máximo de un rodillo no supera el paso, sin embargo a un mayor paso existirá menor resistencia al doblado debido a que los apoyos de reacción para el fleje se ubican sobre la circunferencia entre rodillos mientras el rodillo superior

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ejerce una fuerza en medio de estos apoyos. Un factor de ajuste en la distancia de paso para los sistemas de rodillos se basa en el sistema de transmisión ya que el paso debe ser ajustado al paso de cadena distancia entre centros de piñones según el método empleado. (Jp Steel Plantech Co., 2013). Uno de los parámetros fundamentales a tener en cuenta en la concepción de un sistema de enderezador por rodillos, es la relación que ha de haber entre el diámetro de los rodillos (D) y el paso o distancia entre los mismos (P), D/P, si se tiene una separación lo más grande posible será posible generar un grado de flexión mayor al fleje, debido a que el rodillo superior penetrara más fácilmente entre los rodillos inferiores, sin embargo aumenta el riesgo de que el fleje se desvíe del camino deseado si la relación D/P es inferior a 0.6 , además aumenta el resbalamiento de rodillos, si por el contrario la relación se acerca a 1, es decir el diámetro es muy grande, tendrán un diámetro cercano al paso, consiguiendo un mayor aprovechamiento del par torsional, pero se limita el radio de curvatura que genera la flexión sobre el fleje.

En la Tabla 4, se pueden hallar parámetros relacionados al diámetro y numero de rodillos definidos según ancho y espesor del material a enderezar.

Tabla 4. Relación diámetro-número de rodillos típica. Fuente:

<http://www.konturatools.cz/images/produkty/prilohy/2013-04-17-10-38-44-rovnani-pasu-ang.pdf>

Cantidad rodillos y diámetro	Espesor lámina a enderezar	Ancho lámina a enderezar
5* ø 40mm	0.4 - 2.0mm	130/200mm
7* ø 60mm	0.4 - 2.0mm	200/300mm
7* ø 80mm	0.4 - 2.0mm	200/300mm
9* ø 25mm	0.4 - 2.0mm	100/160mm
9* ø 32mm	0.4 - 2.0mm	100/160mm
9* ø 32mm	0.4 - 2.0mm	200/250mm
9* ø 44mm	0.4 - 2.0mm	100/160mm
9* ø 44mm	0.4 - 2.0mm	250/350mm
11* ø 60mm	0.4 - 2.0mm	300mm
17* ø 10mm	0.4 - 2.0mm	60mm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.7.5 Fuerza de enderezado

Fuerza en un rodillo de enderezado

La fuerza enderezado en cada rodillo es proporcional a la distancia media entre rodillos, y el torque distribuido entre los rodillos, entonces, la fuerza F_1 del rodillo 1 dependerá del momento (M_2) y del paso, así respectivamente para los demás rodillos, para una configuración de cinco rodillos las fuerzas de enderezado respectivas (Yali & Herong, 2012), se evalúan como se muestra en las (ecuaciones 9,10,11,12,13)

$$F_1 = \frac{2}{p} M_2 \quad (9)$$

Donde:

F_1	=	Fuerza de enderezado rodillo 1	N
p	=	Paso entre rodillos	m
M_2	=	Momento interno rodillo 2	Nm

$$F_2 = \frac{2}{p} (2M_2 + M_3) \quad (10)$$

Dónde:

F_2	=	Fuerza de enderezado rodillo 2	N
M_3	=	Momento interno rodillo 3	Nm

$$F_3 = \frac{2}{p} (M_2 + 2M_3 + M_4) \quad (11)$$

Dónde:

F_3	=	Fuerza de enderezado rodillo 3	N
M_4	=	Momento interno rodillo 4	Nm

$$F_4 = \frac{2}{p} (2M_3 + M_4) \quad (12)$$

Dónde:

F_4	=	Fuerza de enderezado rodillo 4	N
-------	---	--------------------------------	---

$$F_5 = \frac{2}{p} M_4 \quad (13)$$

Dónde:

F_5	=	Fuerza de enderezado rodillo 5	N
-------	---	--------------------------------	---

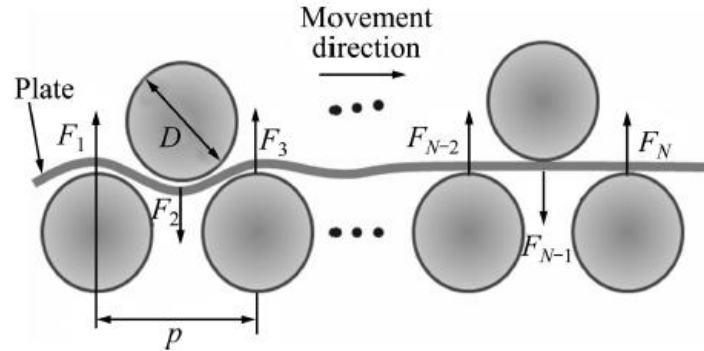


Ilustración 20. Fuerzas de enderezado. Fuente: (Yong-qin et al., 2012).

La fuerza máxima de enderezado es la característica que determina la capacidad para la cual está diseñado el sistema ya que este delimita el diseño, la fuerza necesaria aumenta con el número de rodillos, y se es proporcional a los requerimientos de torque y fuerza en cada rodillo (Yong-qin et al., 2012).

$$F_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N F_i \leq F_{max} \rightarrow \frac{8M_{t,i}}{p} \sum_{i=2}^{N-1} \bar{M}_i \leq F_{max} \quad (14)$$

Dónde:

- | | | | |
|--------------|---|------------------------------------|----|
| F_{Σ} | = | Sumatoria de fuerzas de enderezado | N |
| F_i | = | Sumatoria de fuerzas de enderezado | N |
| F_{max} | = | Fuerza máxima de enderezado | N |
| $M_{t,i}$ | = | Momento elástico fleje rodillo | Nm |
| \bar{M}_i | = | Relación de momentos internos | Nm |
| p | = | Distancia entre centros rodillos | m |

2.8 Ejes

Es un componente rotativo, por lo general de sección transversal circular, sobre el cual se pueden transmitir movimientos giratorios sin que este se mueva, o rotando conjuntamente con los elementos móviles como poleas piñones, manivelas que controlan su movimiento, el eje puede también emplearse como un elemento que no transmite par torsión y solo soporta los elementos giratorios, bajo este concepto se puede evaluar un eje como un elemento estático facilitando su

análisis. Diseñar un eje consiste básicamente determinar el diámetro correcto para asegurar una rigidez y resistencia satisfactorias cuando éste transmite potencia de diferentes condiciones de carga y operación. Generalmente los ejes tienen sección transversal circular y pueden ser huecos o macizos (Budynas & Nisbett, 2008).

2.9 Rodamientos

El propósito de un rodamiento o cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina. Éstos usan bolas esféricas o algún otro tipo de rodillos entre los elementos estacionario y móvil. El tipo más común de rodamiento soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales, o una combinación de cargas radiales y axiales (de empuje). Algunos cojinetes están diseñados para soportar puramente cargas de empuje. Para seleccionar un rodamiento se considera la capacidad de carga, y la geometría asegurará que se pueda instalar de forma adecuada en la máquina, normalmente se selecciona el rodamiento después de haber avanzado en el diseño del eje, hasta el punto donde se ha determinado su diámetro mínimo, se conozcan las cargas radiales y la orientación de los rodamientos con respecto a otros elementos en la máquina (SKF, 2006).

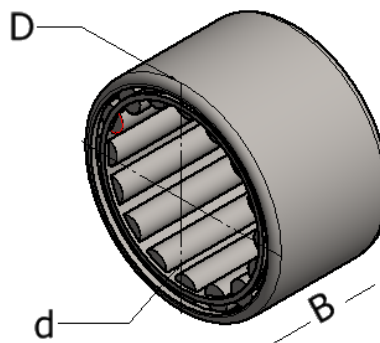


Ilustración 21. Rodamiento de agujas. Fuente: Elaboración propia

Ecuación general para selección de rodamientos

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a \quad (15)$$

En donde:

P_o = Carga estática equivalente

X_o = Factor de carga radial

F_r = Carga radial real

Y_o = Factor de carga axial

F_a = Carga axial real

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

2.10 Sistemas de transmisión mecánica

Una transmisión mecánica, es un sistema que recibe potencia de algún tipo de fuente giratoria, como un motor eléctrico, motor de combustión interna, turbina de gas, motor hidráulico o neumático, una turbina de vapor o de agua, o hasta el movimiento manual que hace el operador. Típicamente una transmisión causa un cambio en la velocidad de rotación de los ejes que forman la transmisión, para que el eje de salida trabaje con más lentitud o mayor rapidez que el eje de entrada, los elementos activos del accionamiento transmiten la potencia de entrada al de salida. Cuando hay una reducción de la velocidad, existe un incremento correspondiente en el par torsional transmitido. Por el contrario, un incremento de la velocidad causa una reducción del par torsional en la salida, en comparación con la entrada al reductor.

2.10.1 Transmisión de potencia

En muchas ocasiones los ejes se utilizan para transmitir potencia, la potencia se determina como el producto del par cortante por la velocidad angular constante a la que gira el eje.

$$Pot = T\omega \quad (16)$$

Dónde:

Pot	=	Potencia	W
T	=	Torque	Nm
ω	=	Velocidad angular	Rad/s

2.10.2 Trasmisión por cadena

Ésta consta de dos ruedas dentadas y un miembro deformable formado por una serie de eslabones rígidos que pueden tener un giro relativo entre ellos los cuales constituyen una cadena. Estos sistemas transmiten el movimiento entre los ejes por medio del empuje generado entre los eslabones de la cadena y los dientes de las ruedas, que en la práctica se conocen como sprockets o catarinas.

2.11 Cizallado

Las cizallas de guillotina para metal, son máquinas empleadas para cortar metales (hierro, aluminio, acero, etc.) generalmente en láminas. Su campo de aplicación se extiende a varios sectores industriales. Dentro de las cizallas guillotinas para metal existen principalmente mecánicas e hidráulicas. El cizallado o guillotinado como también es llamado, es un proceso limpio, rápido y exacto de corte, con la ventaja que no produce reacciones químicas, calor ni viruta en el material. El único limitante que tiene este tipo de proceso es el espesor de la lámina a cortar dado su densidad y dureza por lo que se tiene que ser muy exactos en la selección de las cuchillas de corte. En general es usado en frío para cortes rectos a lo largo o ancho del material.

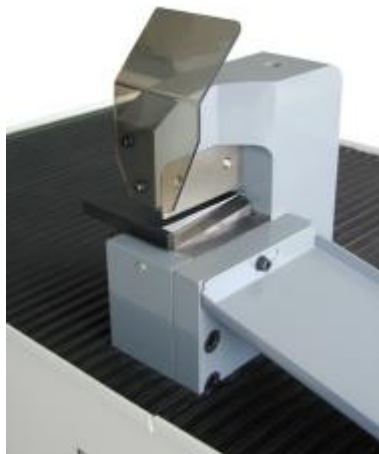


Ilustración 22. Cizalla hidráulica. Fuente: <http://www.boquillasypunzones.es/g-60-cizalla-hidraulica>

2.12 Motorreductores

A nivel industrial los motorreductores son de los equipos más utilizados por la gran variedad de funciones que pueden desempeñar, su fácil montaje y mantenimiento. Estos son sistemas de engranajes conectados a un motor que en la mayoría de las veces es eléctrico, dichos engranajes permiten que el motor trabaje a velocidades para las cuales no fue diseñado, adaptándose a las especificaciones de funcionamiento de determinadas máquinas sin sacrificar su potencia. Para la selección de un motorreductor se debe tener en cuenta las características de operación para las cuales se va a utilizar, como la potencia necesaria tanto de entrada como de salida, velocidad a la entrada y a la salida, el torque máximo que alcanza a la salida y la relación de reducción, horas de servicio. Se debe tener claridad del espacio disponible para su instalación, si está a la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

intemperie o en un lugar cerrado, las condiciones de humedad, temperatura, y la carga a la que va a ser sometido, todas éstas se deben verificar de los datos técnicos del fabricante.

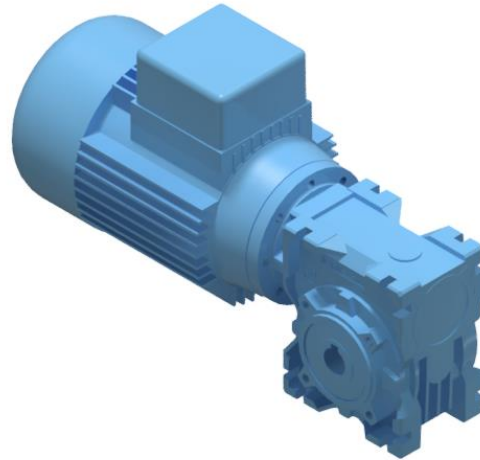


Ilustración 23. Motorreductor sinfin corona

2.13 Encoder

Un encoder es un dispositivo de detección que proporciona una respuesta. Los encoder convierten el movimiento en una señal eléctrica que puede ser leída por algún tipo de dispositivo de control en un sistema. El encoder envía una señal de respuesta que puede ser utilizada para determinar la posición, contar, velocidad o dirección. Uno de los tipos de encoder más usados, son los rotatorios, los cuales se acoplan a un eje y controlan la posición de éste mediante la conversión de la rotación en impulsos electrónicos. Los impulsos de salida del codificador son contados y evaluados por una unidad de control para determinar la posición de la máquina y la velocidad.

2.14 Variadores de velocidad

Los variadores de velocidad de motores cumplen un rol cada vez más importante en los distintos tipos de industrias. Entre sus principales aplicaciones se encuentran el control de velocidad de bombas, compresores, ventiladores, entre otro tipo de maquinaria industrial (Barbera, 2009). Un convertidor de frecuencia, llamado también (Variador de velocidad), es un equipo usado para modificar mediante parámetros, la velocidad en motores de corriente alterna, a través del

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

control de la frecuencia que se suministra al motor. Este control de la frecuencia se hace necesario, ya que en motores asíncronos, la velocidad de giro de éste no depende de la tensión alimentación, si no de la frecuencia de la red, con éstos se puede lograr un control de la velocidad del motor entre un rango desde cero (0) rpm y la velocidad nominal del motor manteniendo un par constante. El rendimiento de un variador es alto, y permite mantener un factor de potencia cercano a uno (1).

2.15 Diseño asistido por computador (CAD)

En el diseño industrial y de productos, CAD es utilizado principalmente para la creación de modelos de superficie o sólidos en 3D, o bien, dibujos de componentes físicos basados en vectores en 2D. Sin embargo, CAD también se utiliza en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual y hasta el layout de productos, a través de fuerza y análisis dinámico de ensambles hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo para manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos. Aunque ésta es una herramienta muy poderosa y de gran ayuda para el diseño, se hace necesario que previamente se comprendan cada uno de los conceptos requeridos para el análisis de los esfuerzos aplicados (Siemens Aktiengesellschaft , 2016).

3 METODOLOGÍA

Para definir las especificaciones de operación de la máquina se realizó revisión del estado del arte de enderezado de fleje metálico, ante lo cual se investigó en literatura, e información de éste en las bases de datos científicas, a su vez se contó con el apoyo de un taller especializado en el área metalmeccánica, como lo es Troqueltec S.A.S, donde se evidenció de primera mano la operación del sistema de enderezado convencional con una máquina de pedal. En éste taller se llevó a cabo mediciones, así como algunas simulaciones de parámetros a usar para el diseño semiautomático como por ejemplo la determinación de la velocidad lineal. También se definieron algunas restricciones de operación de la máquina, como especificaciones del fleje normalmente usado por éste tipo de talleres.



Ilustración 24. Banco de trabajo enderezado manual Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 25. Almacenamiento y Medición del fleje, Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tiempo de enderezado y corte: Se tomó el tiempo promedio que gasta un operario entre transportar, posicionar, medir, cortar, y enderezar a satisfacción un tramo de (50cm) de fleje, lo cual le tomó al operario aproximadamente 5 minutos.



Ilustración 26. Corte de fleje cizalla manual, Troqueltec S.A.S. Fuente: Elaboración propia

Calidad del enderezado: Es común detectar en el proceso de enderezado manual tramos de fleje con pequeñas deformaciones producidas por el irregular punzonado, ya que dependiendo del operario, la fuerza aplicada no siempre es la misma, así como el criterio o entrenamiento de éste para hacer el proceso siempre igual, esto hace que en ocasiones se tenga una calidad variable en el enderezado, que para posteriores procesos de uso final del fleje no sea óptimo.

Factor humano: En el proceso manual, se requiere de una constante intervención del operador, el cual debe accionar repetidamente y por un tiempo determinado el pedal para lograr el enderezado, lo que ocasiona que el operador dependiendo de su resistencia y de la fuerza que se deba aplicar, se fatigue; ante lo cual en ocasiones debe hacer pausas para recobrar las condiciones físicas y continuar con el proceso.



Ilustración 27. Enderezado por pedal, Troqueltec SAS. Fuente: Elaboración Propia.

El análisis del tipo de sistema de enderezado más apropiado para realizar el diseño, según los métodos investigados, se evalúa por medio de una matriz de decisión, que consiste en asignar una ponderación sobre la base del 100%, a las características más relevantes con las que debe cumplir el método requerido, de allí se obtiene que el método ideal para éste proyecto es el enderezado por rodillos.

Se realizó un pre-diseño que consiste en un esquema base, en el cual se visualizaron los principales componentes del sistema y parámetros más importantes con el fin de llegar al detalle del diseño, éste sirvió para obtener estimaciones dimensionales, determinar cálculos mecánicos requeridos y principios de operación, tal como se muestra en la Ilustración 28.

Se realizaron los cálculos matemáticos que soportan el diseño, se basó principalmente en artículos científicos y patentes referentes a máquinas enderezadoras de alambre y flejes similares a la del objeto del presente proyecto, además del uso de las memorias de la materia Diseño Mecánico, como cálculo de ejes, selección de cadenas y rodamientos. Se investigó información de empresas fabricantes de máquinas enderezadoras para validar algunos parámetros como espesor.

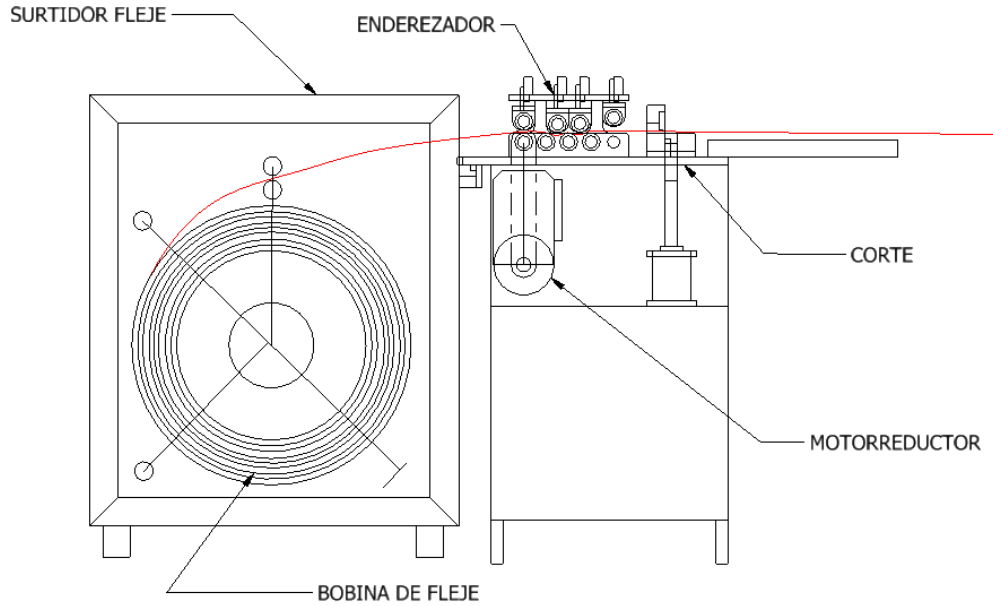


Ilustración 28. Esquema preliminar de diseño



Ilustración 29. Máquina comercial para enderezado de fleje. Fuente:

<http://www.konturatools.cz/images/produkty/prilohy/2013-04-17-10-38-44-rovnani-pasu-ang.pdf>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Se usó el software Autodesk Inventor, con el cual se realizó de una manera más fácil el diseño, a la vez que se comprobaron los principales cálculos realizados. En base a los resultados obtenidos del diseño mecánico se calcularon los equipos eléctricos y electromecánicos requeridos como motorreductor y variador de velocidad.



Ilustración 30. Software Autodesk Inventor. Fuente: <http://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>

Dado que el proceso de diseño y modelación fue hecho en mayor parte con ayuda del software Autodesk Inventor, se usó éste mismo para la realización de los planos mecánicos de la máquina enfocados hacia una posible construcción, los cuales detallan cada pieza del sistema. Para los planos eléctricos se usó el software Cade Simu y para la simulación de la cizalla hidráulica se recurrió al software FluidSim.

Código	
Versión	
Fecha	

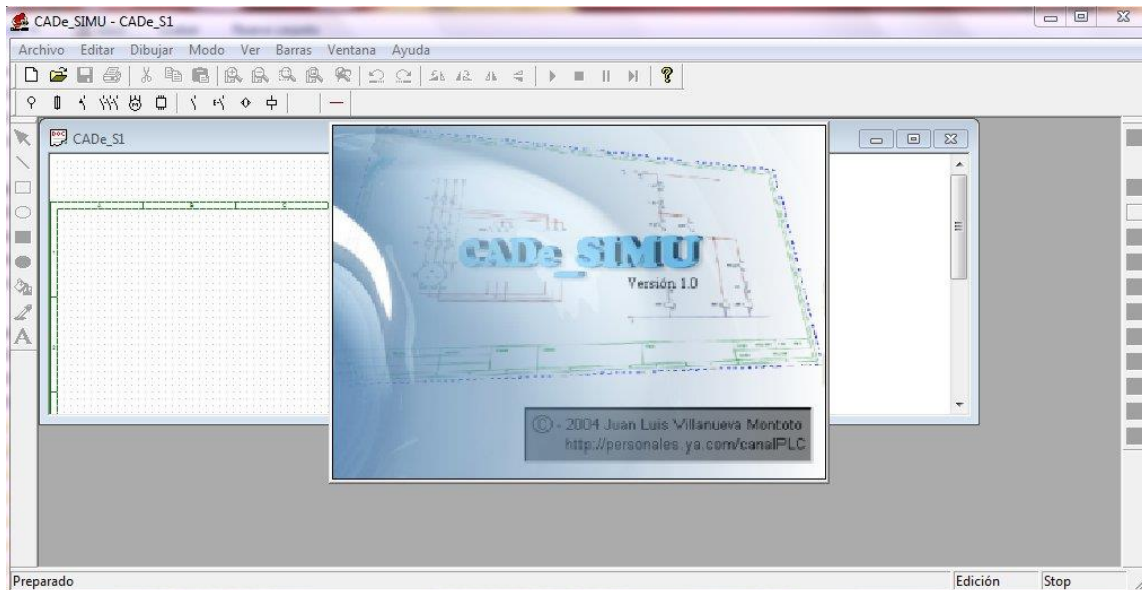


Ilustración 31. Software Cade Simu. Fuente: <http://cade-simu.programas-gratis.net/>

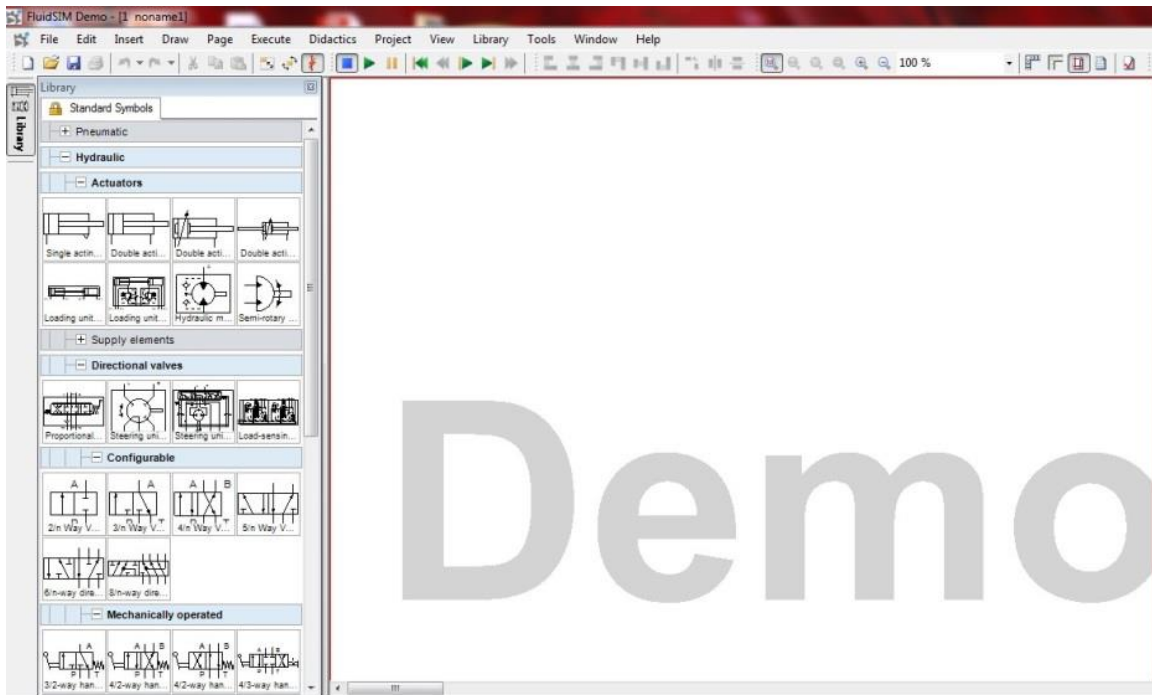


Ilustración 32. Software Fluid Sim. Fuente: <https://fluidsim.uptodown.com/windows>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Para obtener un presupuesto acertado de fabricación de la máquina en base a los planos finales del diseño, se solicitaron cotizaciones con proveedores en área Metropolitana de Medellín, vía email, presencial y telefónica. Dado que el diseño está compuesto por diferentes partes electromecánicas se cotizó tanto el sistema completo como subdividido en chasis, partes mecanizadas, y componentes eléctricos, hidráulicos y de control. Para la parte de mecanizado que comprende la fabricación de los rodillos de enderezado del sistema, así como la relacionada con la estructura o chasis de la máquina, se solicitó que cada proveedor cotizara en conjunto el material y la fabricación con un precio que contuviera éstos dos ítem. Para la parte eléctrica, control e hidráulica se solicitaron cotizaciones de los elementos requeridos por el diseño con proveedores del área de automatización y en almacenes de insumos eléctricos, a la vez que se buscó obtener asesoría en cuanto a la instalación y programación de ciertos componentes como valor agregado a la posible compra de éstos. Los accesorios varios como cables, tornillos y partes menores fueron cotizados en ferreterías. Finalmente se cotizó la mano de obra para el ensamblado de la máquina que se estima realizar con dos personas en un tiempo de dos días laborales de 8 horas. Durante el proceso de cotización algunas propuestas fueron descartadas, debido a altos costos, y falta de un procedimiento más aceptable para determinar el valor de cotización. A fin de decidir cuál o cuáles proveedores eran los más indicados para estimar el presupuesto final de fabricación de la máquina, se realizó una matriz de decisión Tabla 14.

Como resultado a la metodología usada para estimar el costo total de fabricación de la máquina, se recibieron diferentes cotizaciones las cuales fueron adjuntadas en la sección 7 APÉNDICE.

SERINDUCAL M Y N SAS: Es una empresa que ofrece soluciones metalmecánicas industriales como torneado, fresado, entre otros. Con ésta empresa se cotizó el mecanizado de piezas. Valor Cotización partes mecanizado: 1.730.000 COP.

TALLER INDUSTRIAL OSYFER: Es una empresa que ofrece el servicio de fabricación y diseño de maquinaria, así como partes metalmecánicas, tiene servicio de torno y fresadora. Con ésta empresa se cotizó el mecanizado de piezas y la estructura de la máquina. Valor Cotización partes mecanizado: 2.606.000 COP. Valor Cotización partes estructura: 735.000 COP.

TROQUELTEC SAS: Ésta empresa presta entre sus campos de acción, el servicio de soldadura, doblado y fabricación de partes metalmecánicas. Con ésta empresa se cotizó la parte estructural. Valor Cotización partes estructura: 620.000 COP.

Para la parte eléctrica, de control e hidráulica, se obtuvo una cotización de un proveedor especialista en área de control y potencia, así como distintas cotizaciones realizadas por almacenes eléctricos, se recibieron las siguientes propuestas:

CNC REPOWERING: Ésta es una empresa especializada en automatización industrial, venta de repuestos, partes eléctricas, la cual ofrece asistencia para instalación y puesta en marcha de equipos. Con ésta empresa se cotizó la parte de potencia, control e hidráulica. Como valor agregado, ofrecen asesoría y puesta en marcha de equipos, de ser requerida. Valor Cotización partes eléctricas, control e hidráulica: 6.701.100 COP.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

ALMACENES VARIOS: Parte de la metodología consistió en cotizar en almacenes de venta de partes eléctricas y mecánicas, en éstos se realizaron cotizaciones menores como rodamientos, cadenas, cables y tornillería, entre otros insumos menores.

TALLER INDUSTRIAL JR: Ésta empresa ofertó fabricar totalmente la máquina, bajo planos y especificaciones electromecánicas. Valor total fabricación máquina: 14.650.000 COP.

Tabla 5. Resumen general de las cotizaciones. Fuente: Elaboración propia.

PROVEEDOR	MECANIZADO	CHASIS	ELÉCTRICO	OBSERVACIONES
CNC REPOWERING	N/A	N/A	6.701.100 COP	MATERIALES COMPLETOS
EDECOL	N/A	N/A	3.150.000 COP	MATERIALES INCOMPLETOS
EDELTA	N/A	N/A	2.348.000	MATERIALES INCOMPLETOS
OSYFER	2.606.000 COP	735.000 COP	N/A	
SERINDUCAL	1.730.000 COP	N/A	N/A	
TALLER JR	14.650.000 COP	OK	OK	FABRICACIÓN COMPLETA
TROQUELTEC	N/A	620.000 COP	N/A	

La Tabla 5. Muestra un resumen general de las cotizaciones recibidas por proveedor lo que permite visualizar fácilmente los principales datos obtenidos.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Definición de las especificaciones de operación de la máquina

El sistema de enderezado por rodillos múltiples tal como se describe en la sección 2.3.4 y se ve en la Tabla 7, constituye una buena alternativa en cuanto a costo, consecución de elementos y condiciones espaciales de talleres como Troqueltec S.A.S, esto lo hace ideal para utilizar como método de enderezado. Por tal razón se considera que es la opción adecuada para la fabricación de la máquina enderezadora de fleje metálico objeto de éste proyecto. Las especificaciones de fleje metálico más usadas por talleres como Troqueltec S.A.S, tienen dimensiones que van entre 19mm a 50mm de ancho, con un espesor de hasta 2.5mm, el material del fleje es un acero del cual se investigaron las especificaciones técnicas. La Tabla 6 presenta algunas restricciones para éste diseño en especial, basadas en las necesidades de éste tipo de talleres, a fin de hacer éste lo más ajustado posible para ahorrar espacio y costos de fabricación.

Tabla 6. Parámetros de diseño. Fuente: Elaboración Propia

Descripción	Magnitud
Ancho máximo de fleje	50mm
Espesor máximo del fleje	2.5mm
Longitud máxima bobina de fleje 2.5mm*50mm	90m
Masa por metro fleje	0.98Kg/m
Diámetro bobina de fleje	0.59m
Límite de fluencia fleje	510Mpa
Velocidad lineal	10m/seg

4.2 Selección del método de enderezado

4.2.1 Matriz de decisión metodo de enderezado

Por medio de una matriz de decisión se define el método que más se ajusta, según los requerimientos del proyecto, asignando un valor de ponderación a las características importantes, con las cuales se puede decidir por una técnica u otra, se obtiene los resultados luego de la asignación de puntajes entre 1 y 5, donde 5 representa el mayor impacto sobre la característica evaluada, tal como se toma la decisión de proceso en la Tabla 7, donde se obtiene como resultado 4,3 puntos para la máquina de enderezado por rodillos, indicando que tiene mayor pertinencia para cumplir con los objetivos del presente proyecto.

Tabla 7. Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia

MATRIZ DE DECISIÓN PARA DEFINIR EL SISTEMA

SISTEMA	Tamaño	Costo(\$)	Vel. operación	Calidad	Mantenimiento	Total
PONDERACIÓN	8%	20%	30%	30%	12%	100%
Enderezado por impacto de flexión.	3	5	1	1	4	14
	0,24	1	0,3	0,3	0,48	2,32
Enderezado en plancha o prensa.	1	2	3	4	2	12
	0,08	0,4	0,9	1,2	0,24	2,82
Enderezado por calentamiento.	5	2	1	1	2	11
	0,4	0,4	0,3	0,3	0,24	1,64
Enderezado por rolado.	5	4	2	3	4	18
	0,4	0,8	0,6	0,9	0,48	3,18
Enderezado por estirado.	1	1	4	5	4	15
	0,08	0,2	1,2	1,5	0,48	3,46
Enderezado por rodillos múltiples.	4	4	5	4	4	21
	0,32	0,8	1,5	1,2	0,48	4,3

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.2.2 Método convencional con máquina de pedal

En la empresa Troqueltec S.A.S se realizaron mediciones de campo, tomando el tiempo por proceso en un sistema convencional de enderezado, para procesar y cortar 50cm de fleje; en la Tabla 8. Se ingresan los datos tomados, el impacto que genera para la calidad del proceso y el factor humano.

El resultado obtenido indica un tiempo requerido para realizar la operación de 4.2 minutos (252 segundos), y un efecto negativo importante evidenciado mayormente durante el enderezado del fleje.

Tabla 8. Resumen funcional sistema de enderezado de pedal para (50cm) de fleje, Troqueltec SAS. Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD	TIEMPO (s)	CALIDAD	FACTOR HUMANO
Transporte del fleje	30	No tiene efecto significativo	Puede tener efecto significativo (-)
Posicionamiento	60	No tiene efecto significativo	No tiene efecto significativo
Medición	60	Puede tener efecto significativo (-)	No tiene efecto significativo
Corte	20	No tiene efecto significativo	Puede tener efecto significativo (-)
Enderezado	82	Puede tener efecto significativo (-)	Tiene efecto significativo (-)
TOTAL	252		

4.2.3 Proceso enderezado con especificaciones de la máquina diseñada

La máquina opera con una velocidad lineal de 10m/min, sobre la base de lo proyectado con éste diseño, tomando también como referencia 50cm de fleje. Ahora con el sistema de enderezado semi-automático por rodillos, se tendrá un proceso culminado para ésta misma medida de aproximadamente 1 minuto (60 segundos), que comprende el posicionamiento, ingreso de datos para la medición, enderezado y corte.

Al evaluar el tema factor humano, la fatiga física se reduce considerablemente dado que no se requiere mayor y repetido esfuerzo por parte el operario, el sistema semi-automático solo requiere la intervención para el posicionamiento, ingreso de datos y corte del fleje. La Tabla 9. Muestra un resumen funcional de la máquina.

Tabla 9. Resumen funcional sistema de enderezado semi-automático por rodillos para (50cm) de fleje. Fuente: Elaboración propia.

ACTIVIDAD	TIEMPO (s)	CALIDAD	FACTOR HUMANO
Posicionamiento	25	No tiene efecto significativo	Tiene efecto significativo (+)
Introducción de datos	25	No tiene efecto significativo	No tiene efecto significativo
Enderezado	5	Tiene efecto significativo (+)	Tiene efecto significativo(+)
Corte	5	No tiene efecto significativo	No tiene efecto significativo
TOTAL	60		

4.3 Cálculos y diseño del sistema mecánico

La máquina se plantea sobre parámetros base, estándar o comerciales investigados, en la Tabla 6, se ingresan datos conocidos de importancia para realizar los cálculos de diseño, propiedades, dimensiones del fleje, además de los requerimientos de proceso.

4.3.1 Cálculo de la fuerza de doblado

Ésta es la fuerza mínima necesaria para doblar el fleje superando su límite elástico, en el cual éste comienza a cambiar su curvatura, según los requerimientos para enderezarlo.

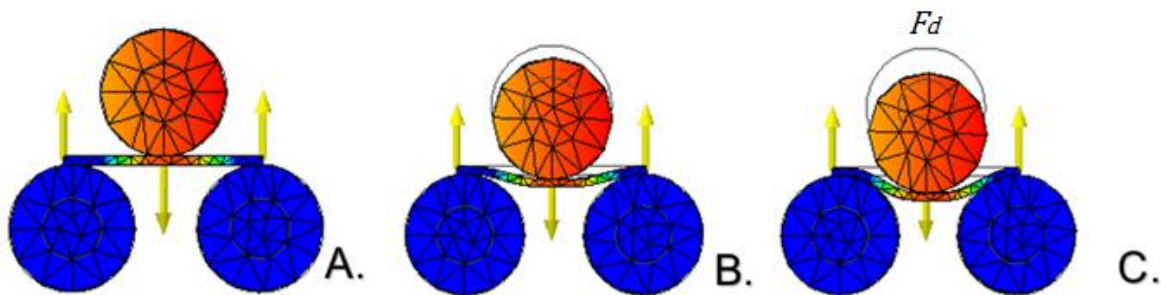


Ilustración 33. Proceso de aplicación de fuerza de doblado. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.1.1 Cálculo del momento de inercia

Dado que el fleje es una lámina con sección rectangular, con un ancho B y un espesor H , su momento de inercia se puede hallar por medio de la (ecuación 17).

Ecuación Momento de inercia fleje

$$I = \frac{1}{12}BH^3 \quad (17)$$

Donde:

H = Altura, espesor de fleje M

B = Base, Ancho de fleje M

Reemplazando para los valores máximos de ancho y espesor de fleje, se determina el momento de inercia.

$$I = \frac{1}{12}(50)[2.5]^3$$

$$I = 65\text{mm}^4 = 6.5 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

4.3.1.2 Distancia al eje neutro

Considerando que el centroide de una geometría rectangular como en el caso del fleje metálico que se requiere enderezar, se encuentra en el centro de éste, resulta ser la mitad de su espesor (H), se determina que todas las fibras de la viga se encuentran en condición elástica, entonces la distribución de esfuerzos resultantes viene dada por la (ecuación 18).

Ecuación Distancia al eje neutro fleje

$$y = \frac{H}{2} \quad (18)$$

$$y = \frac{2.5}{2} = 1.25\text{mm} = 0.00125\text{m}$$

4.3.1.3 Análisis de la distancia entre apoyos

La distancia entre apoyos sobre los cuales el fleje se somete a flexión, se evalúa con base la (ecuación 19).

$$0.6 < D/P < 0.9 \quad (19)$$

Dónde:

D = Diámetro rodillos m

P = Paso de rodillos m

Reemplazando para un diámetro comercial de eje de $D= 38\text{mm}$ y tomando el promedio del rango para la relación, se obtiene la distancia entre apoyos p , entonces obtenemos que:

$$38 * 0.8 = 47.5\text{mm} = 0.0475\text{m}$$

Donde:

$$D/P = 0.8$$

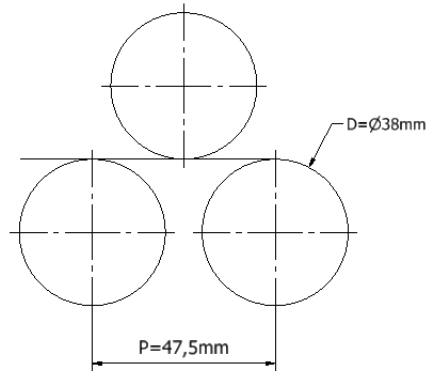


Ilustración 34. Relación diámetro-paso. Fuente: elaboración propia

4.3.1.4 Cálculo de la fuerza de doblado del fleje

Para hallar la fuerza necesaria a fin de doblar el fleje², se halla un esfuerzo de diseño, partiendo del valor promedio entre el esfuerzo de fluencia (510Mpa) y el esfuerzo último (670Mpa) del material, que se obtiene en (590Mpa), usando la (ecuación 20).

$$F_d = \frac{M_f}{r} = \frac{6 \cdot \sigma_{promf} \cdot I}{y \cdot p} \quad (20)$$

Donde

F_d	=	Fuerza de doblado fleje	N
σ_{df}	=	Esfuerzo diseño fluencia fleje	Mpa
σ_{yf}	=	Límite de fluencia fleje	Mpa
I	=	Momento de inercia	Kg/m ²
y	=	Distancia al eje neutro	m
p	=	Distancia entre apoyos	m

$$F_d = \frac{6 \times 590 \times 10^6 \times 6.5 \times 10^{-11}}{0.00125 \times 0.0475}$$

² <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=a6393c6cb14144f2ac1d6b26515a1950>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$F_d = 3875.37N$$

4.3.1.5 Cálculo de la fuerza de rozamiento

La fuerza de fricción se debe al roce o contacto entre los materiales implicados, es este caso para el fleje y el rodillo, el coeficiente de rozamiento estático para un acero al carbono es, $\mu = 0.15$ (Bio-bio et al., 2010), para determinar ésta fuerza se usa la (ecuación 21).

$$F_{fR} = F_d * \mu \quad (21)$$

Dónde:

F_{fR} = Fuerza de fricción N

μ = Coeficiente de rozamiento

Reemplazando,

$$F_{fR} = 3875.37 * 0.15$$

$$F_{fR} = 581.31 N$$

4.3.2 Cálculo fuerza de enderezado

La fuerza de enderezado es la propiedad que determina las dimensiones base y capacidad del sistema, la fuerza máxima de arrastre debe ser superior a la sumatoria de fuerzas necesaria para enderezar, se evalúa teniendo en cuenta el número de rodillos, tal como muestra la (ecuación 22).

Ecuación sumatoria de fuerzas enderezado (Beijing, Mill, & Iron, 2015).

$$F_{\Sigma} = 0.5 \sum_{i=1}^N F_R \leq F_{max} \quad (22)$$

Dónde:

F_{Σ} = Sumatoria de fuerzas de los rodillos N

F_{max} = Fuerza máxima de enderezado N

N = Numero de rodillos

F_R = Fuerza en un rodillo N

La fuerza máxima de enderezado de manera análoga a la sumatoria de fuerzas, debe superar los momentos que los rodillos requieren transmitir al fleje para lograr su avance a través del sistema. Ecuación Fuerza máxima enderezado debido a los momentos (Yong-qin et al., 2012).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$\frac{8M_{tR}}{p} \sum_{i=2}^{N-1} \bar{M}_R \leq F_{max} \quad (23)$$

Dónde:

\bar{M}_R = Relación de momentos internos
 M_{tR} = Momento interno por limite elástico Nm

4.3.2.1 Determinación del momento debido a la fuerza de fricción en un rodillo.

Cada rodillo transmite el movimiento al fleje, por medio del contacto entre la superficie tangencial de apoyo, valiéndose a manera proporcional de la fuerza de fricción que genera el doblado, basados en la (ecuación 24), se obtiene para el rodillo.

$$M_R = F_{fR} \frac{D}{2} \quad (24)$$

Dónde:

F_{fR} = Fuerza de fricción entre fleje y rodillo N
 M_R = Momento interno rodillo Nm

Reemplazando,

$$M_R = 581.31 * \frac{0.038}{2} = 11.04Nm$$

4.3.2.2 Cálculo de la fuerza enderezado entre tres rodillos

Si se realiza el análisis sobre un sistema de enderezado partiendo de la base que se tienen tres rodillos, se halla la fuerza en el rodillo central valiéndose del torque distribuido entre los mismos, asumiendo una equidistancia entre éstos sobre sus apoyos, usamos la (ecuación 25), (Yong-qin et al., 2012)., para determinar la fuerza de enderezado de un rodillo.

$$F_R = \frac{2}{p} (M_{R-1} + 2M_R + M_{R+1}) \quad (25)$$

Dónde:

F_R = Fuerza de enderezado rodillo R N
 p = Paso de rodillos
 M_R = Momento interno rodillo R Nm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$F_R = \frac{2}{0.0475} (11.04 + 2(11.04) + 11.04)$$

$$F_R = 1860.18N$$

4.3.2.3 Determinación del momento interno límite elástico en rodillo central

El momento debido al límite elástico del fleje se evalúa proporcionalmente a las características geométricas del fleje y su límite de fluencia.

Ecuación Momento interno debido al límite elástico (Beijing, Mill, & Iron, 2015).

$$M_{tR} = BH^2 \sigma_y / 6 \quad (26)$$

Dónde:

M_{tR}	=	Momento interno por limite elástico	Nm
B	=	Ancho del fleje	M
H	=	Espesor del fleje	M

Reemplazando,

$$M_{tR} = \frac{0.050 * 0.0025^2 * 590 \times 10^6}{6}$$

$$M_{tR} = 30.73Nm$$

4.3.2.4 Cálculo de la relación de momentos internos

La relación entre los momentos internos se evalúa con los momentos hallados en el rodillo central, usando la (ecuación 27), (Yong-qin et al., 2012), así que:

$$\bar{M}_R = M_R / M_{tR} \quad (27)$$

Dónde:

M_R	=	Momento interno rodillo	Nm
M_{tR}	=	Momento elástico interno fleje rodillo	Nm

$$\bar{M}_R = \frac{11.04}{30.73} = 0.36$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.2.5 Fuerza total de enderezado

La fuerza total se determina en base a la (ecuación 28), (Beijing, Mill, & Iron, 2015) de sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos internos, si se evalúan las expresiones para un sistema de 5 rodillos, se determina que:

$$F_{\Sigma} = 0.5 \sum_{R=1}^N F_R \leq F_{max} \geq \frac{4M_{tR}}{p} \sum_{R=2}^{N-1} \bar{M}_R \quad (28)$$

Dónde:

F_{Σ}	=	Sumatoria de fuerzas de enderezado	N
F_R	=	Sumatoria de fuerzas de enderezado	N
F_{max}	=	Fuerza máxima de enderezado	N
$M_{t,R}$	=	Momento elástico fleje rodillo	Nm
\bar{M}_R	=	Relación de momentos internos	Nm
p	=	Distancia entre centros rodillos	m

Reemplazando se tiene:

$$F_{\Sigma} = 0.5 * 1860.18 * 5 \leq F_{max} \geq \frac{4 * 30.73}{0.0475} * 0.36 * 5$$

$$F_{\Sigma} = 4650.44N \leq F_{max} \geq 4650.44N$$

Debido a los momentos que interactúan entre el fleje y los rodillos, además de las condiciones variables del material se aplica un factor de diseño sobre la sumatoria de fuerzas de enderezado.

$$N = \frac{\sigma_{df}}{\sigma_y} = \frac{590}{510} = 1.16 \approx 1.2$$

σ_{df} = Esfuerzo diseño fluencia fleje Mpa

σ_{yf} = Límite de fluencia fleje Mpa

$$4650.44N * 1.2 = 5580.53N$$

4.3.2.6 Relación entre el límite fluencia del material y el sistema de enderezado

El límite de fluencia del material debe ser superado con el fin de cambiar su estado inicial geométrico por un estado deseado o regulado, lo cual es el propósito del enderezado, se analiza el comportamiento del material.

Ecuación relación limite fluencia fleje y sistema de enderezado (Yong-qin et al., 2012).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$\sigma_y \leq \frac{3F_d p}{4BH^2 \sum_{R=2}^{N-1} \bar{M}_R} \quad (29)$$

Dónde:

σ_y	=	Límite de fluencia del fleje	Mpa
F_d	=	Fuerza de diseño	N
p	=	Paso	mm
B	=	Ancho de fleje	M
H	=	Espesor del Material	M
\bar{M}_R	=	Relación de momentos	

Reemplazando,

$$510 \times 10^6 \leq \frac{3 * 5580.53 * 0.0475}{4 * 0.05 * 0.0025^2 * 3 * 0.36}$$

$$\sigma_y = 510MPa \leq 590MPa$$

4.3.3 Cálculo del momento de la bobina de fleje

Ecuación del torque debido a la masa de la bobina.

$$T_B = I\alpha \quad (30)$$

Dónde:

T_B	=	Torque de la bobina
I	=	Momento de inercia
α	=	Aceleración angular

Ecuación momento de inercia bobina de fleje.

$$I_B = mr_b^2 \quad (31)$$

Dónde:

I_B	=	Momento de inercia de la bobina	Nm
m	=	Masa de la bobina	Kg
r_b	=	Radio de la bobina	M

Según Tabla 6. Parámetros de diseño base, se utiliza una masa de 0.98kg/m, y un diámetro de 0.59m. Partiendo de los valores máximos, se obtiene de la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Tabla 2, la masa por cada metro de fleje y de la

Tabla 1 la longitud comercial del mismo, entonces se halla la masa total como:

$$m = 0.98 * 90 = 88Kg$$

Reemplazando en la (ecuación 31).

$$I_B = 88 * 0.295^2$$

$$I_B = 7.66 kg * m^2$$

Para determinar la velocidad lineal a la cual se debe operar, se hace una revisión en información técnica de operación de máquinas comerciales de operación similar, como enderezadoras de alambre, se notó que éstas en general operaran con velocidades lineales entre 8 y 12m/min, a la vez que se realizaron mediciones de campo en taller metalmecánico Troqueltec S.A.S, llegando a la conclusión que una velocidad lineal ideal para la operación de ésta máquina es 10 m/min.

Ecuación Velocidad angular bobina de fleje

$$\omega_B = \frac{V_L}{r_B} \quad (32)$$

Dónde:

ω_B	=	Velocidad angular bobina	m/s
V_L	=	Velocidad lineal	m/s
r_B	=	Radio de la bobina	M

$$\omega_B = \frac{10}{0.295} = 34 Rad/min = 0.57Rad/seg$$

Ecuación aceleración angular en la bobina de fleje

$$\alpha = \frac{\omega_B}{t} \quad (33)$$

Donde:

α	=	Aceleración angular	m/s ²
ω_B	=	Velocidad angular bobina	m/s

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

t = Tiempo que tarda la bobina en alcanzar S
la velocidad lineal

$$\alpha = \frac{0.57}{4}$$

$$\alpha = 0.14 \text{ rad/s}^2$$

El momento generado por la masa bobina de fleje se halla reemplazando en la (ecuación 30).

$$T_B = 7.66 \times 0.14 = 1.1 \text{ Nm}$$

4.3.3.1 Fuerza de tensión

Ecuación fuerza de tensión bobina de fleje

$$F_B = \frac{T_B}{r_B} \quad (34)$$

Dónde:

F_B	=	Fuerza de la bobina	N
T_B	=	Torque generado por la bobina	Nm
r_B	=	Radio de la bobina	M

Reemplazando,

$$F_B = \frac{1.1}{0.295} = 4 \text{ N}$$

4.3.4 Torque máximo rodillo de arrastre

4.3.4.1 Velocidad angular del rodillo de arrastre

Ecuación velocidad angular rodillo.

$$\omega_r = \frac{V_L}{r} \quad (35)$$

Donde:

ω_r	=	Velocidad angular del rodillo	rev/min
V_L	=	Velocidad lineal	m/s
r	=	Radio rodillo	M

Reemplazando,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$\omega_r = \frac{0.167}{0.019} = 8.8 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} * 60 \text{ min} = 84 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

4.3.4.2 Torque total rodillo de arrastre

El torque necesario en el rodillo de arrastre para forzar el fleje a través del sistema de enderezado, y a su vez vencer la inercia de la bobina de fleje, implica la sumatoria de los momentos, involucrados.

Ecuación torque total arrastre.

$$T_T = T_B + T_E \quad (36)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} T_E &= \text{Torque enderezado} && \text{Nm} \\ T_B &= \text{Torque generado por la bobina} && \text{Nm} \\ T_T &= \text{Torque total de arrastre} && \text{Nm} \end{aligned}$$

Ecuación Torque de enderezado.

$$T_E = F_\Sigma * \frac{D}{2} \quad (37)$$

Dónde:

$$\begin{aligned} T_E &= \text{Torque enderezado} && \text{Nm} \\ F_\Sigma &= \text{Sumatoria de fuerzas de los rodillos} && \text{N} \\ D &= \text{Diámetro rodillos} && \text{M} \end{aligned}$$

Reemplazando,

$$T_E = 5580.53 * \frac{0.038}{2} = 106.03 \text{ Nm}$$

Ahora se reemplaza en la (ecuación 36)

$$T_T = 1.15 + 106.03 = 107.18 \text{ Nm}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.5 Diseño del rodillo de arrastre

Tabla 10. Propiedades materiales AISI 4140 para rodillos. Fuente: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=84595a386f7e4e519945edd3e46f751c>

	Metric	English
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³
Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	262	262
Hardness, Knoop	287	287
Hardness Rockwell B	98	98
Hardness Rockwell C	26	26
Hardness Vickers	276	276
Tensile Strength Ultimate	883 MPa	128000 psi
Tensile Strength Yield	710 MPa	103000 psi
Elongation at Break	21.7 %	21.7 %
Reduction of Area	65 %	65 %
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi
Poissons Ratio	0.29	0.29
Machinability	65 %	65 %
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi

Para el cálculo del eje se parte de la selección de un material comercial, de resistencia al desgaste y propiedades mecánicas mayores a las del fleje, además que permita templeabilidad. Seleccionando de la página Matweb las propiedades del acero, (AISI 4140 Steel, oil quenched, 50 mm (2 in.) round (845°C (1550°F) quench, 595°C (1100°F) temper).

Se procede a determinar el diámetro óptimo del eje para el diseño de los rodillos, evaluando el punto de cambio de sección, que es un punto crítico, el eje solo requiere un escalón de cada extremo para apoyarse en los rodamientos y soportar la transmisión; usando la (ecuación 13), se halla cada uno de los términos necesarios.

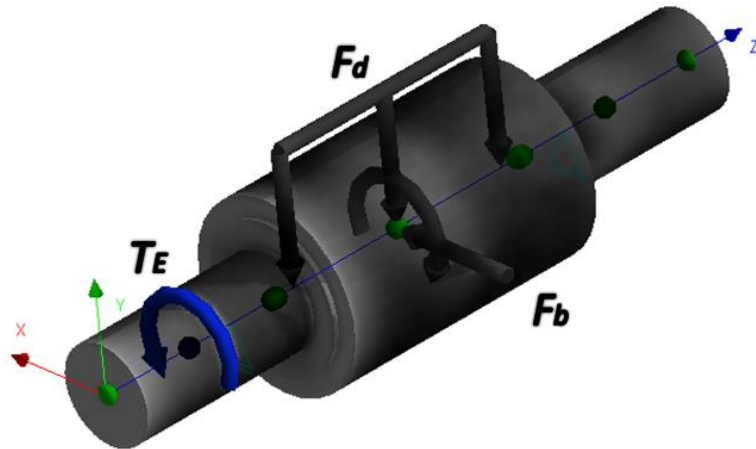


Ilustración 35. Fuerzas y momentos soportados por el eje. Fuente: Elaboración propia

4.3.5.1 Momento flector rodillo

Con el apoyo del software Autodesk inventor se evalúa las fuerzas y momentos sobre el rodillo obteniendo el valor de momento flector M_B

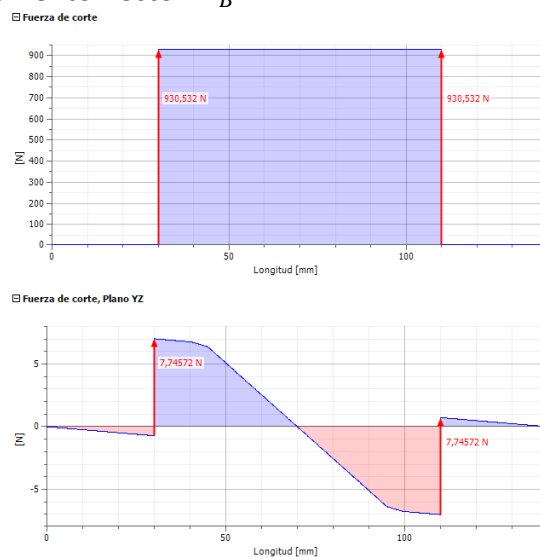
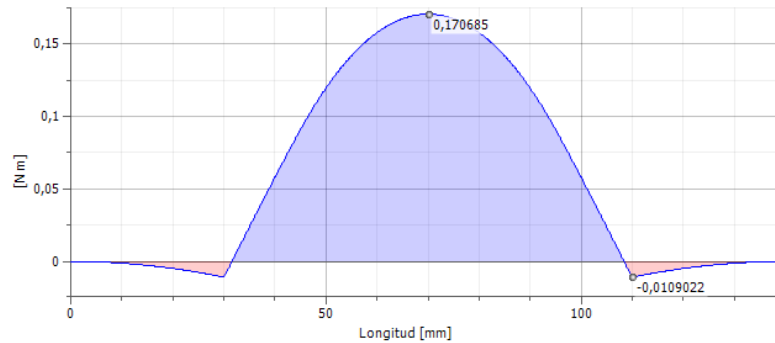


Ilustración 36. Diagramas de fuerza cortante Rodillo de arrastre, planos YZ, XZ. Fuente: Elaboración propia

☐ Momento flector, Plano YZ



☐ Momento flector, Plano XZ

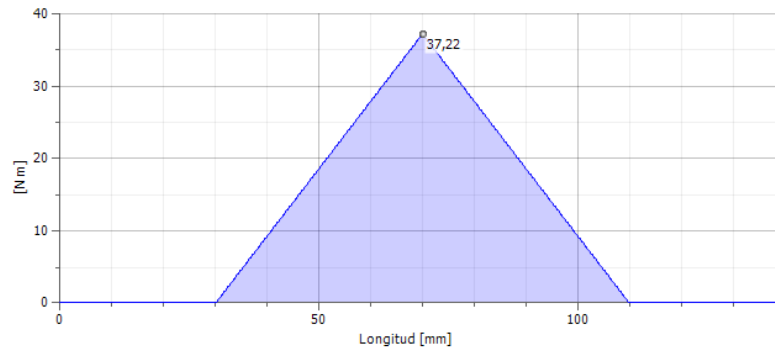


Ilustración 37. Diagrama momento flector Ra plano YZ, XZ. Fuente: elaboración propia. De la Ilustración 38. Se obtiene la suma vectorial de momentos flectores para los planos YZ y XZ, el valor del momento flector resultante es 32.2Nm.

Ecuación suma vectorial momentos (Mott, 2006).

$$M_B = \sqrt{M_{Bx}^2 + M_{By}^2} \quad (38)$$

Dónde

M_B = Momento total en el eje Nm
 M_{Bx} = Momento eje x Nm
 M_{By} = Momento eje y Nm

$$M_B = 32.2Nm$$

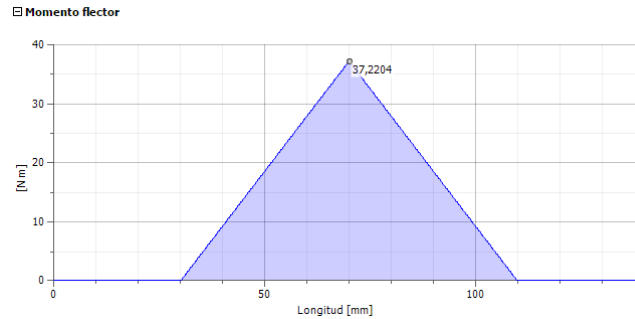


Ilustración 38. Diagrama de momento flector Rodillo de arrastre. Fuente Elaboración propia.

4.3.5.2 Resistencia real a la fatiga

Ecuación Resistencia real a la fatiga (Mott, 2006)

$$S'_n = S_n(C_m)(C_{st})(C_R)(C_S) \quad (39)$$

Dónde:

- S'_n = Resistencia real a la fatiga Mpa
- S_n = Resistencia a la fatiga Mpa
- C_m = Factor del material
- C_{st} = Factor tipo de esfuerzo
- C_R = Factor de confiabilidad
- C_S = Factor de tamaño

S_n : resistencia a la fatiga

Con el valor de S_u del material, y usando la Ilustración 39, encontramos el valor de S_n .

$S_y = 710$ Mpa

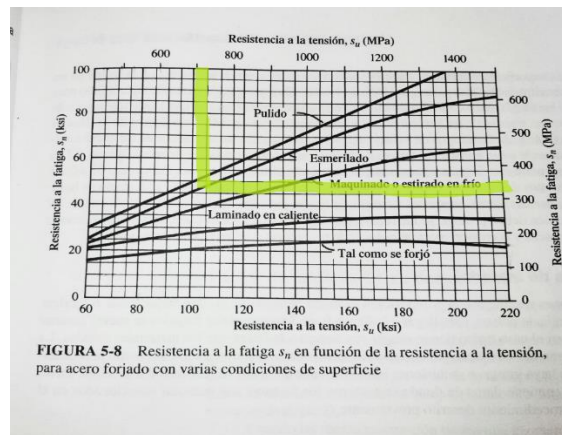


FIGURA 5-8 Resistencia a la fatiga s_n en función de la resistencia a la tensión, para acero forjado con varias condiciones de superficie

Ilustración 39. Resistencia a la tensión S_u . Fuente: (Mott, 2006)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Encontramos un valor de $S_u = 350\text{MPa}$

4.3.5.3 Factor del material

Tabla 11. Factor de material C_m . Fuente: (Mott, 2006)

FACTOR DE MATERIAL C_m			
Acero forjado	$C_m = 1.0$	Hierro colado maleable	$C_m = 0.80$
Acero colado	$C_m = 0.80$	Hierro gris	$C_m = 0.70$
Acero pulverizado	$C_m = 0.76$	Hierro colado dúctil	$C_m = 0.66$

Se elige Acero forjado

$$C_m = 1.0$$

4.3.5.4 Factor tipo de esfuerzo

Según (Mott, 2006), pág. 176, "El resultado es que la resistencia a la fatiga de un material sometido a esfuerzo axial repetido e invertido es 80% de la resistencia que tiene a la flexión repetida e invertida. Por lo anterior, se recomienda aplicar un factor $C_{st} = 1.0$ para esfuerzo de flexión, y $C_{st} = 0.80$ para carga axial".

Dado lo anterior, se elije:

$$C_{st} = 1.0$$

4.3.5.5 Factor de confiabilidad

Tabla 12. Factores de confiabilidad C_R . Fuente: (Mott, 2006)

Factores de confiabilidad aproximados C_R	
Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Se elige,

$$C_R = 0.81$$

4.3.5.6 Factor de tamaño

Se usa la Ilustración 40, para determinar el factor de tamaño

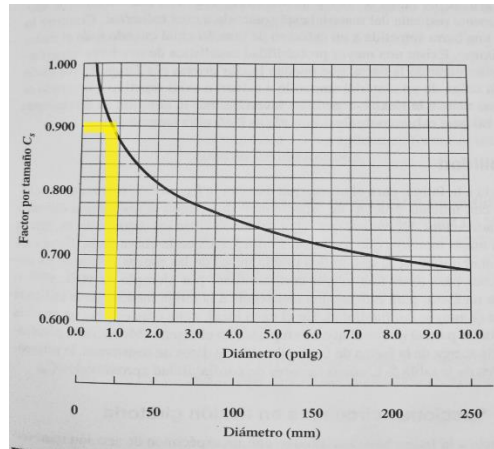


Ilustración 40. Factor de tamaño. Fuente: (Mott, 2006)

Se elige,

$$C_s = 0.90$$

Reemplazando en la (ecuación 39).

$$S'_n = 350(1.0)(1.0)(0.81)(0.90)$$

$$S'_n = 255 \text{ MPa}$$

$$S'_n = 102.6 \text{ Ksi}$$

4.3.5.7 Concentrador de esfuerzos

Para determinar el factor de concentración de esfuerzo, se establece como base un punto crítico del eje, donde se halla un cambio de sección o se pretenda ubicar una chaveta, dado esto se utiliza el factor 2.5, según

Tabla 13.

Tabla 13. Selección valor Kt. Fuente: (Mott, 2006)

Valor Kt	Tipo
1.5	Transición bien redondeada
1.6	De trineo
2.0	Perfil
2.5	Chaflán agudo

Reemplazando los valores en la (ecuación 40).

Ecuación para hallar el diámetro mínimo aceptable de un eje (Mott, 2006).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

$$D = \left[\left(\frac{32F_s}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{K_t M_B}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 } \right]^{\frac{1}{3}} \quad (40)$$

Dónde:

D	=	Diámetro mínimo	M
F_s	=	Factor de seguridad	
K_t	=	Factor por concentrador de esfuerzos	
M_B	=	Momento total en el eje	Nm
S'_n	=	Resistencia real a la fatiga	Mpa
T	=	Torque	Nm
S_y	=	Límite de cedencia del material	Mpa

$$D = \left[\left(\frac{37.2 * 1.5}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{2.5 * 32.2}{255 * 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{107.18}{965 * 10^6} \right)^2 } \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0.0180\text{m}$$

4.3.6 Selección del rodamiento

Los rodamientos utilizados para los rodillos deben contar con un espesor de pared mínimo que no sobrepase el diámetro del eje ya que, se encontraría con la cavidad del eje superior y dado que la velocidad del sistema es de baja revoluciones se opta por rodamientos de agujas.

Carga radial del rodamiento	F_r	1675 N
Carga axial del rodamiento	F_a	0 N
Velocidad	n	84 rpm
Coefficiente de seguridad estática requerido	s_0	2,0 su

Ilustración 41. Parámetros de entrada selección del rodamiento agujas. Fuente: Elaboración propia.

Con el apoyo del software Autodesk inventor se obtiene una selección acertada del rodamiento necesario para cumplir con los requerimientos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Designación		ISO 3245 (I) (32 D - 18 x 26 x 14)
Diámetro interior de rodamiento	d	18,000 mm
Diámetro exterior de rodamiento	D	26,000 mm
Anchura de rodamiento	B	14,000 mm
Ángulo de abrazamiento nominal del rodamiento	α	0 gr
Tasa de carga dinámica básica	C	10100 N
Tasa de carga estática básica	C_0	13700 N
Factor de carga radial dinámica	X	0,60 su / 0,60 su
Factor de carga axial dinámica	Y	0,50 su / 0,50 su
Valor límite de F_a/F_r	e	0,40 su
Factor de carga radial estática	X_0	0,60 su
Factor de carga axial estática	Y_0	0,50 su
Velocidad límite para lubricación con grasa	n_{Lim1}	0 rpm
Velocidad límite para lubricación con aceite	n_{Lim2}	0 rpm

Ilustración 42. Designación del rodamiento seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Rango de vida básico	L_{10}	79176 h
Rango de vida ajustado	L_{na}	79176 h
Coefficiente de seguridad estática calculado	s_{0c}	8,17910 su
Pérdida de potencia por fricción	P_z	0,59673 W
Carga mínima necesaria	F_{min}	274 N
Carga estática equivalente	P_0	1675 N
Carga dinámica equivalente	P	1675 N
Factor de sobrerrevolución	k_n	0,000 su
Factor de ajuste de vida para fiabilidad	a_1	1,00 su
Factor de temperatura	f_t	1,00 su
Velocidad equivalente	n_e	84 rpm
Velocidad mínima	n_{min}	84 rpm
Velocidad máxima	n_{max}	84 rpm
Comprobación de resistencia		Positivo

Ilustración 43. Datos de salida rodamiento. Fuente: Elaboración propia

4.3.7 Modelado del enderezador

Las platinas laterales del enderezador sustentan los rodillos inferiores por medio de los rodamientos, a su vez proveen la estructura al sistema de enderezado, el enderezador consta de dos platinas simétricas, que separan los rodillos de las catarinas.



Ilustración 44. Modelo platina lateral. Fuente: Elaboración propia.

Los soportes de regulación superior se encargan de sustentar los rodillos superiores y soportar los esfuerzos de doblado mientras el fleje pasa entre los rodillos, consta de dos platinas laterales que integran los rodamientos de agujas y una platina principal superior que los une con un tornillo central, el cual avanza según la graduación que se le dé al girar la tuerca, generando la penetración de contacto para el arrastre y la penetración de doblado.

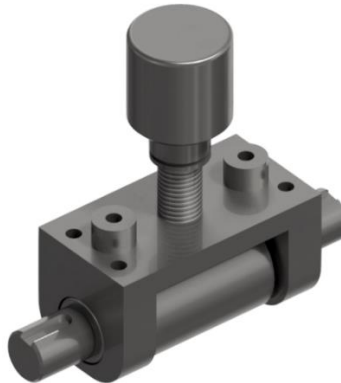


Ilustración 45. Modelo soporte de regulación penetración. Fuente: Elaboración propia

El modelo enderezador se analiza utilizando el software Autodesk Inventor en el cual se le ingresan las fuerzas de doblado, dando como resultado el comportamiento de la estructura ante las reacciones, se realizan ajustes de optimización del modelo como limitar la altura de cierre máximo de los rodillos superiores evitando sobreesfuerzos por regulación de profundidad tal como se muestra en la Ilustración 46.

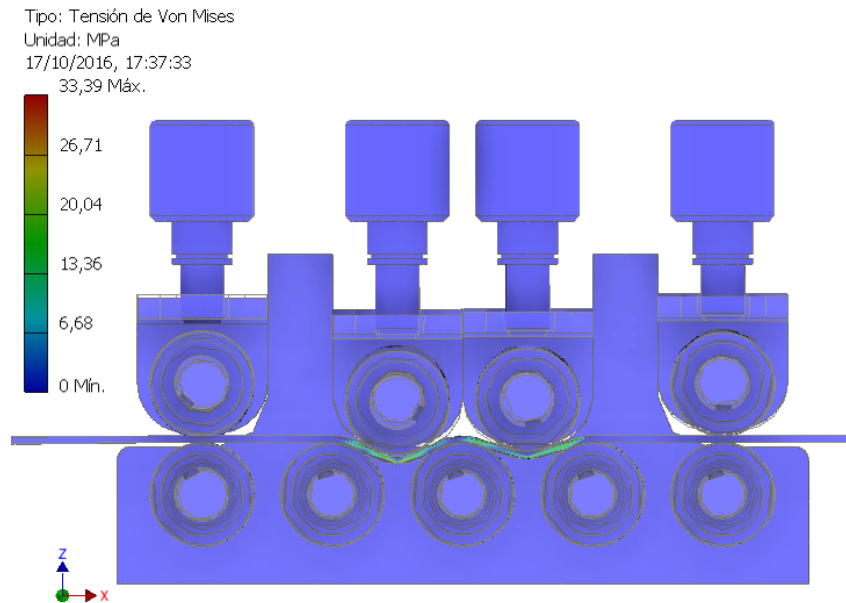


Ilustración 46. Análisis modelo enderezador. Fuente elaboración propia.

La platina superior de la Ilustración 47, sustenta las protecciones laterales, y apoya las reacciones de los esfuerzos de doblado y de arrastre que generan los soportes de regulación, por lo que se fabrica en un acero AISI1045, este componente también se encarga de cerrar la estructura del enderezador



Ilustración 47. Modelo platina superior. Fuente: Elaboración propia

El diseño final del enderezador de la Ilustración 48, incluye los rodillos de arrastre inferiores y los rodillos de empuje superiores, al que se le integran las protecciones laterales que cubren la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

cadena disminuyendo el riesgo para los operadores y contribuyendo con la vida útil de la máquina.

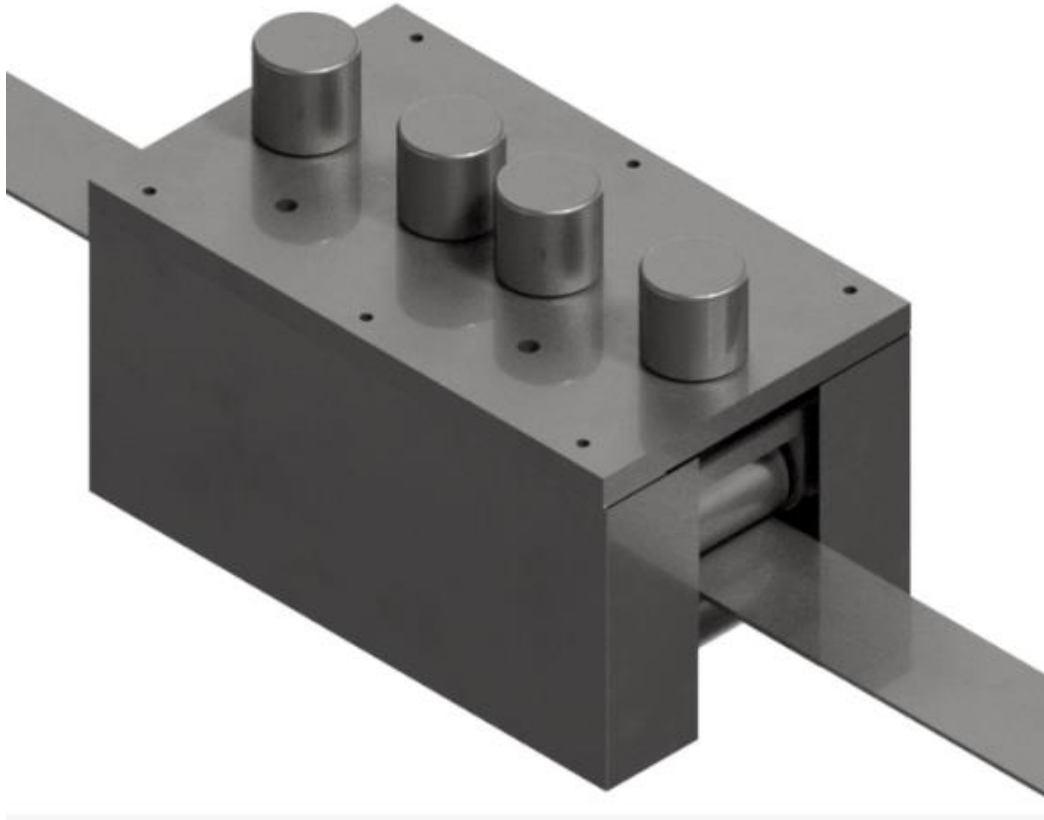


Ilustración 48. Modelo sistema de enderezado. Fuente: elaboración propia

4.3.8 Selección del motorreductor

Para generar el movimiento en el sistema de enderezado se requiere un motor que cumpla con las exigencias requeridas de torque y velocidad, según la Ilustración 49. Selección motorreductores sinfín corona NORD. Seleccionando un motor de 4 polos a 60HZ,



**Motorreductores de sinfín
UNIVERSAL
4 polos 60Hz**



1,5kW

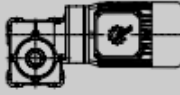



P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	i _{sch}	i _{vor}	F _R [N]	F _{RF} [N]	Modelo	Módulos del motorreductor			
													IEC 90 B14 C140
1,5	340	37	1,0	5	5		2360	1710	SK 1SI 40 – IEC90 - 90L/4	Números de pedido de los módulos			
	227	54	0,8	7,5	7,5		2650	1790		60491050	60495040	34510020	34510044
	340	38	1,7	5	5		4690	3490	SK 1SI 50 – IEC90 - 90L/4	Números de pedido de los módulos			
	227	55	1,4	7,5	7,5		4800	3730		60591050	60495040	34510020	34510044
	170	72	1,0	10	10		4800	3710		60591080	*	*	*
	136	87	0,8	12,5	12,5		4800	3700		60591100	*	*	*
	113	100	0,9	15	15		4800	3690		60591130	*	*	*
	113	104	1,5	15	15		6300	3400	SK 1SI 63 – IEC90 - 90L/4	Números de pedido de los módulos			
	340	39	2,4	5	5		6300	3460		60691050	60695040	34510020	34510044
	227	56	2,4	7,5	7,5		6300	3450		60691080	*	*	*
	170	73	1,8	10	10		6300	3430		60691100	*	*	*
	136	91	1,4	12,5	12,5		6300	3420		60691130	*	*	*
85	133	1,1	20	20		6300	3360	60691150		*	*	*	
68	160	0,8	25	25		6300	3320	60691200	*	*	*		
57	174	0,9	30	30		6300	3290	60691250	*	*	*		
68	169	1,4	25	25		8000	8000	SK 1SI 75 – IEC90 - 90L/4	Números de pedido de los módulos				
170	75	3,0	10	10		8000	8000		60791100	60795040	34510020	34510044	
136	93	2,3	12,5	12,5		8000	8000		60791130	*	*	*	
113	106	2,5	15	15		8000	8000		60791150	*	*	*	
85	138	1,8	20	20		8000	8000		60791200	*	*	*	
68	169	1,4	25	25		8000	8000		60791250	*	*	*	
57	195	1,1	30	30		8000	8000		60791300	*	*	*	
43	233	1,1	40	40		8000	8000		60791400	*	*	*	
34	274	0,9	50	50		8000	8000	60791500	*	*	*		

Ilustración 49. Selección motorreductores sinfín corona NORD. Fuente: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/G1035_60Hz_ES_2908.pdf

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.9 Cálculo del sistema de transmisión de potencia

El sistema de potencia se encarga de transmitir el par y la velocidad desde el motorreductor hasta el rodillo de arrastre, tomando como eficiencia de un sistema de transmisión por cadena de rodillos como $\eta = 0.94$

Ecuación Potencia de diseño sistema de transmisión

$$Pd = P_E * \eta * F_S \quad (41)$$

Dónde:

Pd	=	Potencia de diseño	W
P_E	=	Potencia entrada enderezador	W
η	=	Eficiencia transmisión por cadena	
F_S	=	Factor de seguridad	

La potencia corregida de entrada al sistema para una relación 1/1 de transmisión la determina los parámetros de salida del reductor de torque con 133Nm y velocidad de salida 85 RPM, lo cual debe garantizar el movimiento del sistema, por lo que se emplea un factor de servicio de 1.3.

$$85 \text{ RPM} = 8.9 \text{ Rad/s}$$

Ecuación Potencia entrada al sistema de enderezado

$$P_E = T_M * \omega_M \geq P_R = T_T * \omega_R \quad (42)$$

Dónde:

P_E	=	Potencia entrada enderezador	W
T_M	=	Torque motorreductor	Nm
ω_M	=	Velocidad angular motorreductor	Rad/s
P_R	=	Potencia en rodillo de arrastre	W
T_T	=	Torque total rodillo de arrastre	Nm
ω_R	=	Velocidad angular rodillo de arrastre	Rad/s

Reemplazando,

$$P_E = 133 * 8.9 \geq P_R = 111.3 * 8.8$$

$$1183.7W \geq 979.4W$$

Ahora se reemplazan los valores para la (ecuación 41).

$$P_d = 979.4 * 0.94 * 1.2 = 1.196KW$$

El sistema de transmisión

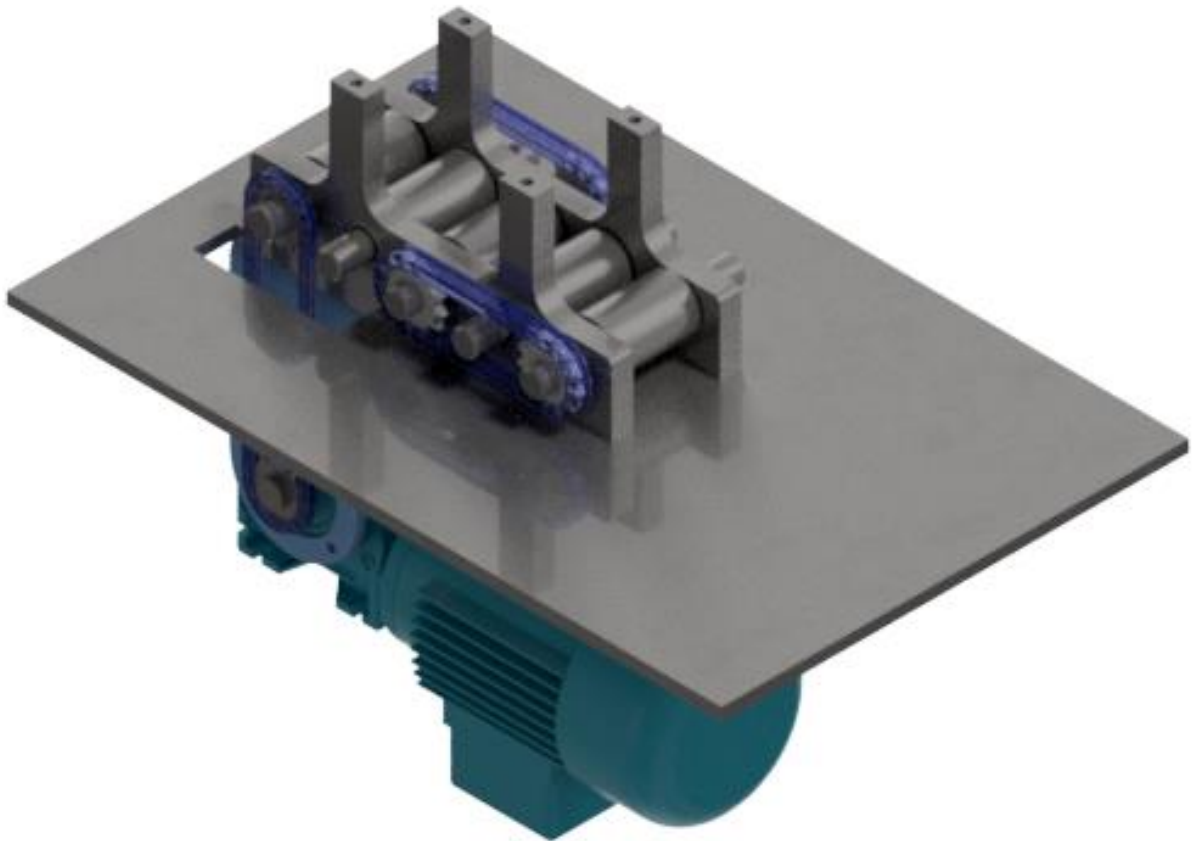


Ilustración 50. Sistema de transmisión al rodillo de arrastre. Fuente: Elaboración propia.

4.3.9.1 Selección de la cadena

Tomando los valores obtenidos de potencia del software Autodesk inventor se selecciona la cadena de menor dimensión que cumpla los requerimientos de transmisión de potencia de diseño a la velocidad de giro del motorreductor, tomando de la norma ISO606-2004, cadena 35 paso 9.525, de una hilera, tal como muestra la Ilustración 51.

Cadena : ISO 606:2004 - Cadenas de rodillo de precisión de transmisión de paso corto (UE)	
Designación de tamaño de cadena	06B-1-84
Separación	p 9,525 mm
Número de eslabones de cadena	X 84,000 su
Número de tramos de cadena	k 1,000 su
Anchura mínima entre placas interiores	b ₁ 5,720 mm
Diámetro máximo de rodillo	d ₁ 6,350 mm
Diámetro máximo de cuerpo de pasador	d ₂ 3,280 mm
Profundidad máxima de placa interior	h ₂ 8,260 mm
Profundidad máxima de placa exterior o intermedia	h ₃ 8,260 mm
Anchura máxima sobre pasadores de rodamiento	b 13,500 mm
Anchura máxima de placa interior	t ₁ 1,300 mm
Anchura máxima de placa intermedia o exterior	t ₂ 1,000 mm
Área de contacto de la cadena	A 28,000 mm ²
Resistencia a tracción	F _u 8900,000 N
Masa específica de cadena	m 0,400 kg/m
Factor de construcción de cadena	φ 1,000 su

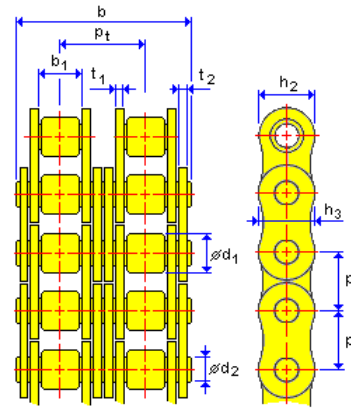


Ilustración 51. Selección cadena por potencia de diseño. Fuente: elaboración propia.

Guía de diseño

Número de dientes:

Tamaño personalizado

Número personalizado de tramos

Coef. de potencia:

Momento de inercia:

D_g:

M_R:

Cotas

Dientes:

D_p:

d_r:

SC:

b_s:

D_s:

r_a:

D_a:

D_f:

k:

P_t:

b_f:

h_a:

b_a:

r_x:

r_e:

r_i:

α:

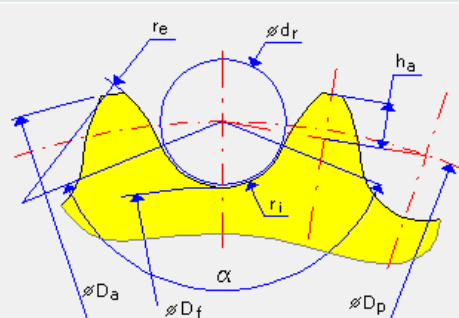
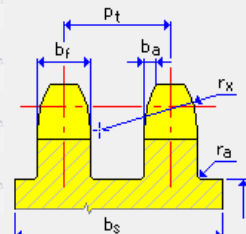
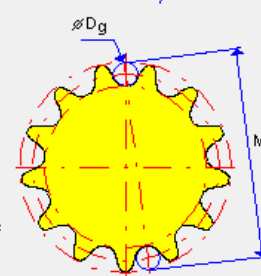




Ilustración 52. Parámetros Catarina. Fuente: elaboración propia.

<p>Condiciones de trabajo</p> <p>Par de torsión, Velocidad --> Potencia</p> <p>Potencia P 0,944 kW</p> <p>Par de torsión T 106 N m</p> <p>Velocidad n 85 rpm</p> <p>Eficacia η 0,980 su</p> <p>Vida útil necesaria L_h 0</p> <p>Alargamiento máx. de cadena $\Delta L_{m\acute{a}x}$ 0,030 su</p> <p>Aplicación: Funcionamiento correcto</p> <p>Entorno: Limpio</p> <p>Lubricación: Recomendada</p>	<p>Factores de corrección de potencia</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de impacto Y 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de servicio f_1 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor tamaño de rueda dent. f_2 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de tramos f_3 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de lubricación f_4 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de distancia ejes/centros f_5 1,153 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de coeficiente f_6 1,200 su</p> <p><input type="checkbox"/> Factor de vida útil f_7 0,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Limitar presión de área de contacto de la cadena</p> <p><input type="checkbox"/> Presión admisible p_0 30,176 MPa</p> <p><input type="checkbox"/> Factor específico de fricción λ 1,000 su</p> <p><input type="checkbox"/> Análisis de vibración</p> <p>Rigidez de la cadena c 1600,000 N/mm</p> <p>Límite de velocidad crítica Δn 0,100 su</p>	<p>Resultados</p> <p>P_D 0,000 kW</p> <p>F_p 5326,501 N</p> <p>F_C 0,013 N</p> <p>F_{Tmax} 5326,513 N</p> <p>S_S 1,671 su</p> <p>S_D 1,671 su</p> <p>Vida útil esperada</p> <p>t_h 2083 h</p> <p>t_{HL} 0 h</p> <p>t_{hr} 582299 h</p> <p>Cadena</p> <p>p 9,525 mm</p> <p>X 84,000 su</p> <p>k 1,000 su</p> <p>A 28,000 mm²</p> <p>v 0,177 mps</p> <p>P_B 190,233 MPa</p> <p>Rueda dentada 1</p> <p>z 13,000 su</p> <p>z_c 7,000 su</p> <p>D_p 39,801 mm</p> <p>β 180,00 gr</p> <p>P_x 1,000 su</p> <p>P 0,944 kW</p> <p>T 106,000 N m</p> <p>n 85.000 rpm</p>
---	--	--

03:12:00 p.m. Cálculo: Lubricación recomendada: Lubricación manual

03:12:00 p.m. Cálculo: La potencia máxima de la cadena está limitada por la fatiga de las placas de eslabón.

03:12:00 p.m. Cálculo: El cálculo indica la compatibilidad del diseño.

Ilustración 53. Condiciones de trabajo cadena. Fuente: elaboración propia

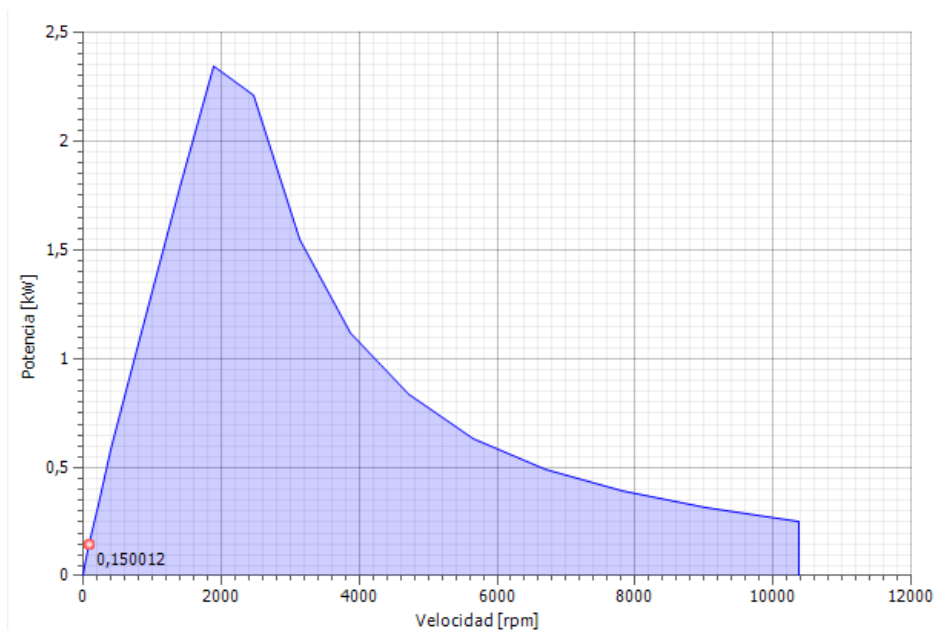


Ilustración 54. Gráfico operación cadena. Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

4.3.10 Cálculo Fuerza corte cizalla

El área de la sección transversal para realizar el corte, corresponde al ancho del fleje con respecto a su espesor, para obtener el valor máximo se toma las especificaciones máximas del fleje a cortar y se aplica el concepto de la (ecuación 43).

Ecuación Fuerza máxima de corte cizallas (Navarro, 1976)

$$F_c = BH * \partial_c \quad (43)$$

Dónde:

F_c	=	Fuerza de corte	N
B	=	Base	m
H	=	Altura	m
∂_c	=	Resistencia al corte	Mpa

$$F_c = 670 * 10^6 * 0.05 * 0.0025 = 83750N$$

La fuerza de corte para cizalla en ángulo de 10° se obtiene aplicando la (ecuación 44) para un espesor de fleje máximo.

Ecuación Fuerza de corte en ángulo (Navarro, 1976)

$$F_c = \frac{\partial_c * H^2}{2 \tan(\beta)} \quad (44)$$

Dónde:

H	=	Altura, Espesor del Material	M
β	=	Angulo de corte de la cizalla	°

$$F = \frac{670 * (0.0025)^2}{2 \tan(10^\circ)} = 11874N$$

4.4 Sistema electrohidráulico

Las etapas de control y potencia usadas para éste diseño, constan básicamente de un arranque start-stop, que controla el encendido y apagado de la máquina a través de un variador de velocidad, sumado a ésta, hay una etapa intermedia también de control que tiene un encoder rotatorio, el cual va acoplado al eje de arrastre del sistema de enderezado, dependiendo de las vueltas o fracción de vuelta, éste envía pulsos los cuales son interpretados por un controlador previamente programado para la medición del fleje, dicho controlador envía una señal para detener el sistema y accionar una cizalla hidráulica que realiza el corte del fleje al medida ingresada en el panel.

4.4.1 Esquema de control

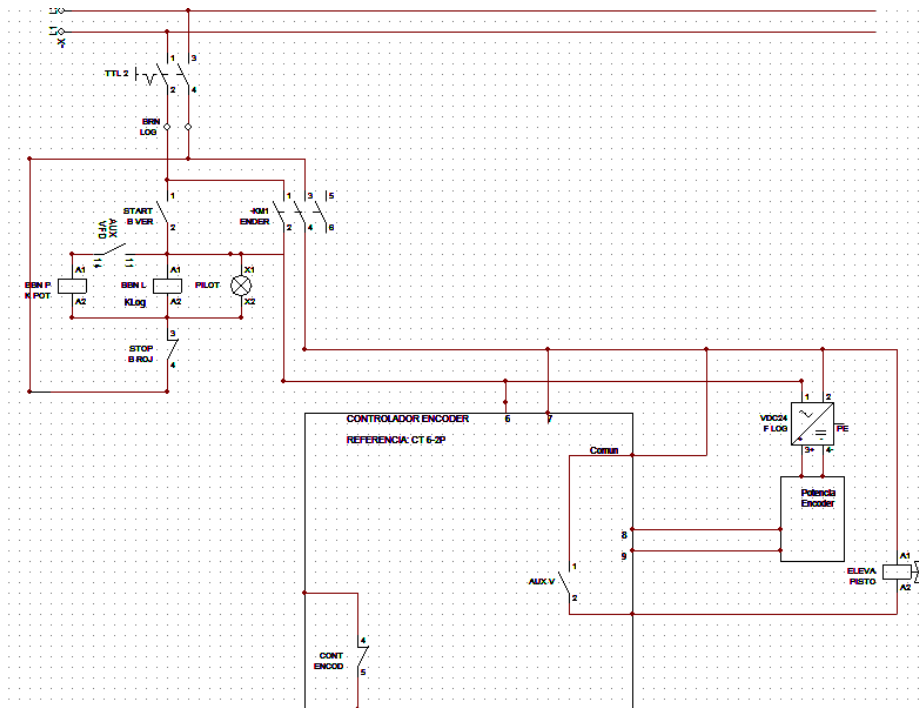


Ilustración 55. Esquema de control enderezado y corte. Fuente: Elaboración propia

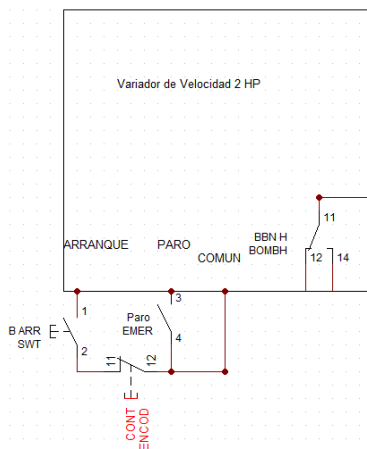


Ilustración 56. Esquema de control variador de velocidad. Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Esquema de potencia

Esquema de potencia enderezado y corte incluye el moto reductor y el motor de la bomba de la cizalla los cuales aportan los movimientos y la fuerza necesaria para cada aplicación acompañados del accionamiento necesario.

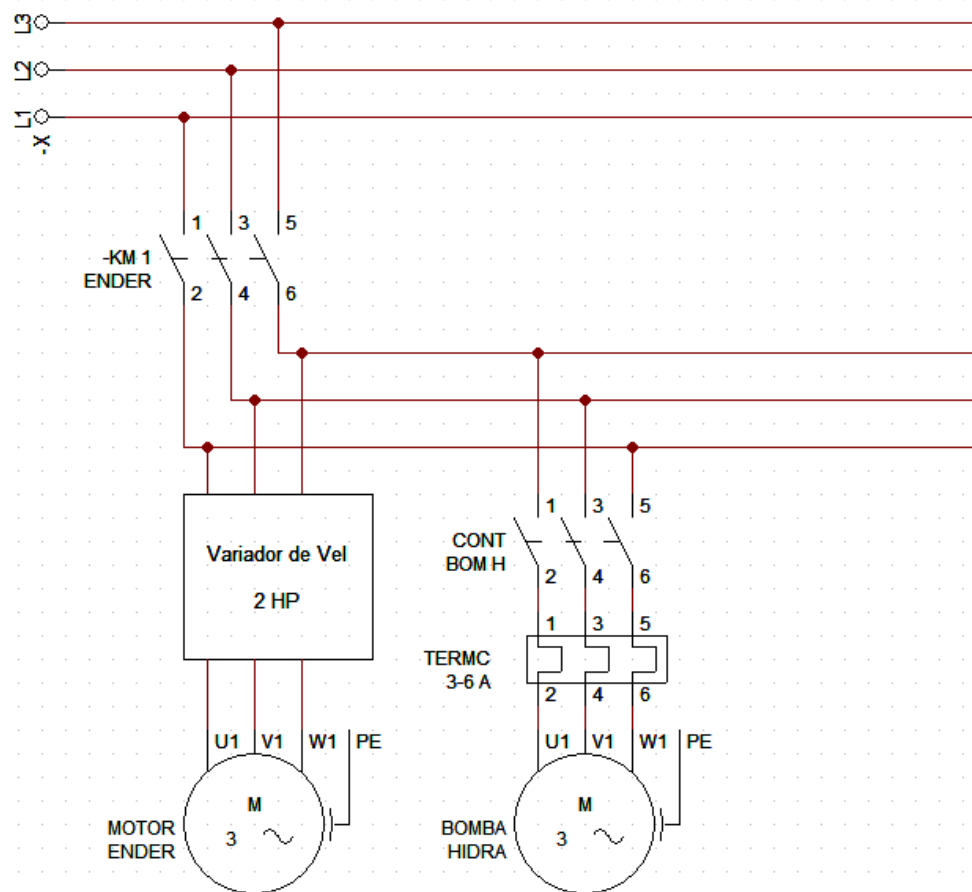


Ilustración 57. Esquema de potencia enderezado y corte. Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Esquema hidráulico

El esquema hidráulico representa una cizalla comercial con la fuerza de corte antes calculada, se simula el funcionamiento en el software FluidSim, al recibir la orden desde el controlador del encoder la electroválvula debe permitir el que el actuador ejecute el corte y una vez realizado retorne a su punto inicial, lo parámetros de cizalla se estiman en base a una cizalla comercial para flejes hasta 100mm de ancho.

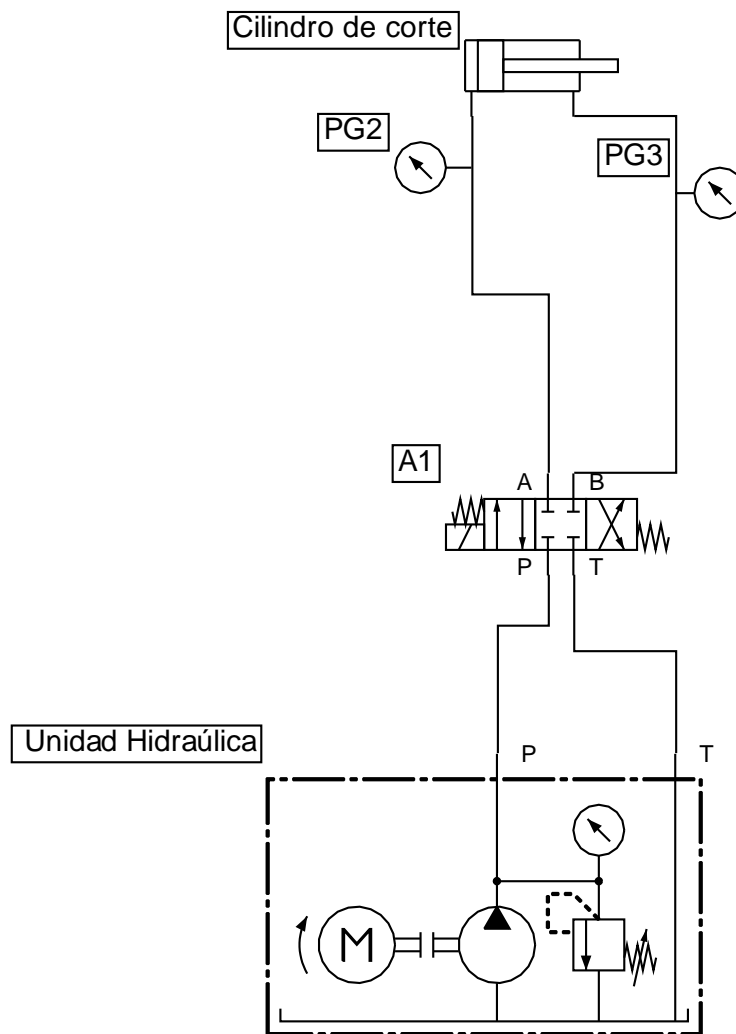


Ilustración 58. Esquema hidráulico. Fuente: Elaboración propia

4.5 Sistema de suministro de fleje

El surtidor de fleje de la Ilustración 59, se diseña con el propósito de almacenar las bobinas y surtir el fleje seleccionado para cortar, consta de una estructura que soporta el peso de los componentes y el de las bobinas, se adiciona tapas metálicas con el fin de disminuir el riesgo de los operadores, en la Ilustración 59, A. se muestra la estructura en la que se pueden insertar hasta 9 bobinas de fleje.

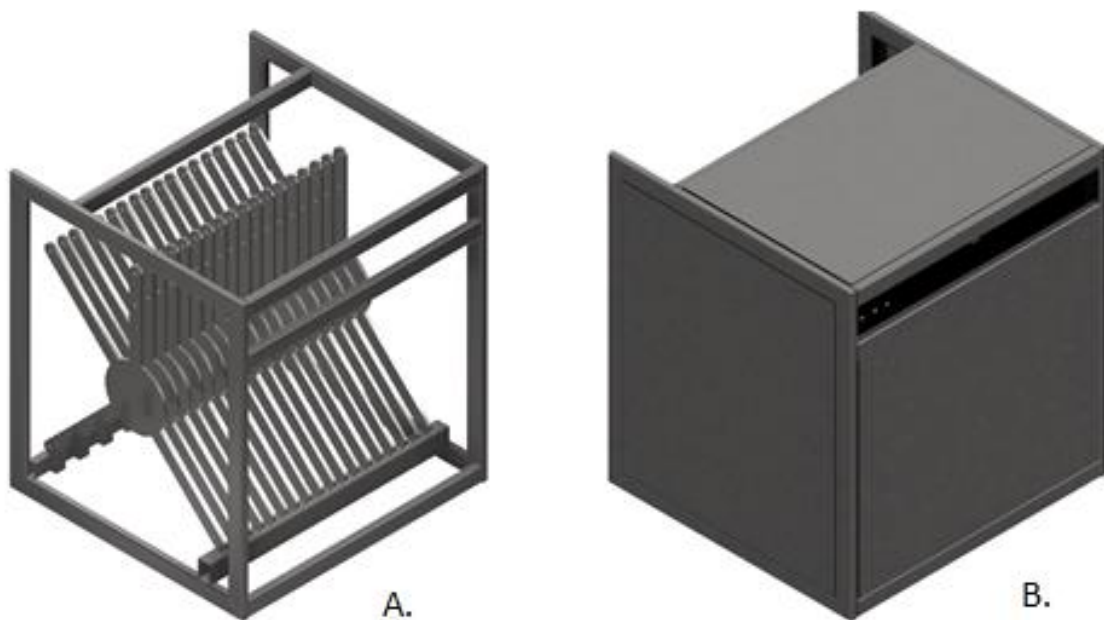


Ilustración 59. A. Estructura surtidor B. Surtidor de fleje. Fuente: Elaboración propia

4.5.1 Estructura enderezado-corte

La estructura delantera integra el sistema de enderezado y corte, soportando el peso de los componentes y la fuerza generada durante el corte del fleje, para la validación de la estructura en el software Autodesk Inventor se realiza un análisis estático para la carga más representativa

que es la reacción durante el corte con una fuerza resultante de 11874N sobre el tubo transversal medio, con el propósito de verificar la tubería de menor dimensión, adecuada para toda la estructura tal como muestra la Ilustración 60 A.; se integran tapas laterales en chapa metálica con fines estéticos y de seguridad industrial, además de proteger el sistema de transmisión y el motor del polvo, mejorando las condiciones de trabajo y vida útil como se aprecia en la Ilustración 60 B.

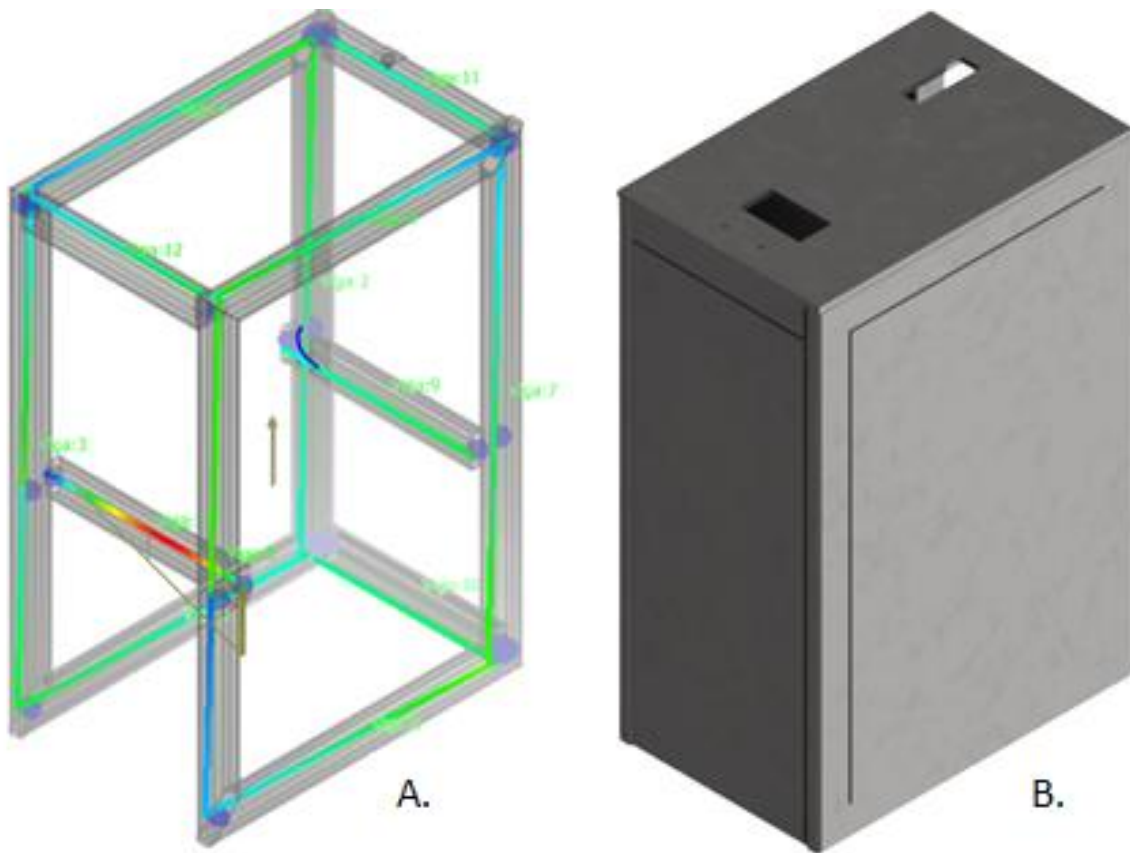


Ilustración 60. Estructura de enderezado-corte. Fuente: Elaboración propia

4.6 Diseño final sistema de enderezado

Se diseña la máquina enderezadora de fleje metálico por rodillos, integrando un proceso que cuenta con las etapas de suministro de fleje enrollado por medio del surtidor, enderezado,

medición y corte con base en el sistema de control y cizalla como se puede observar en la Ilustración 61.

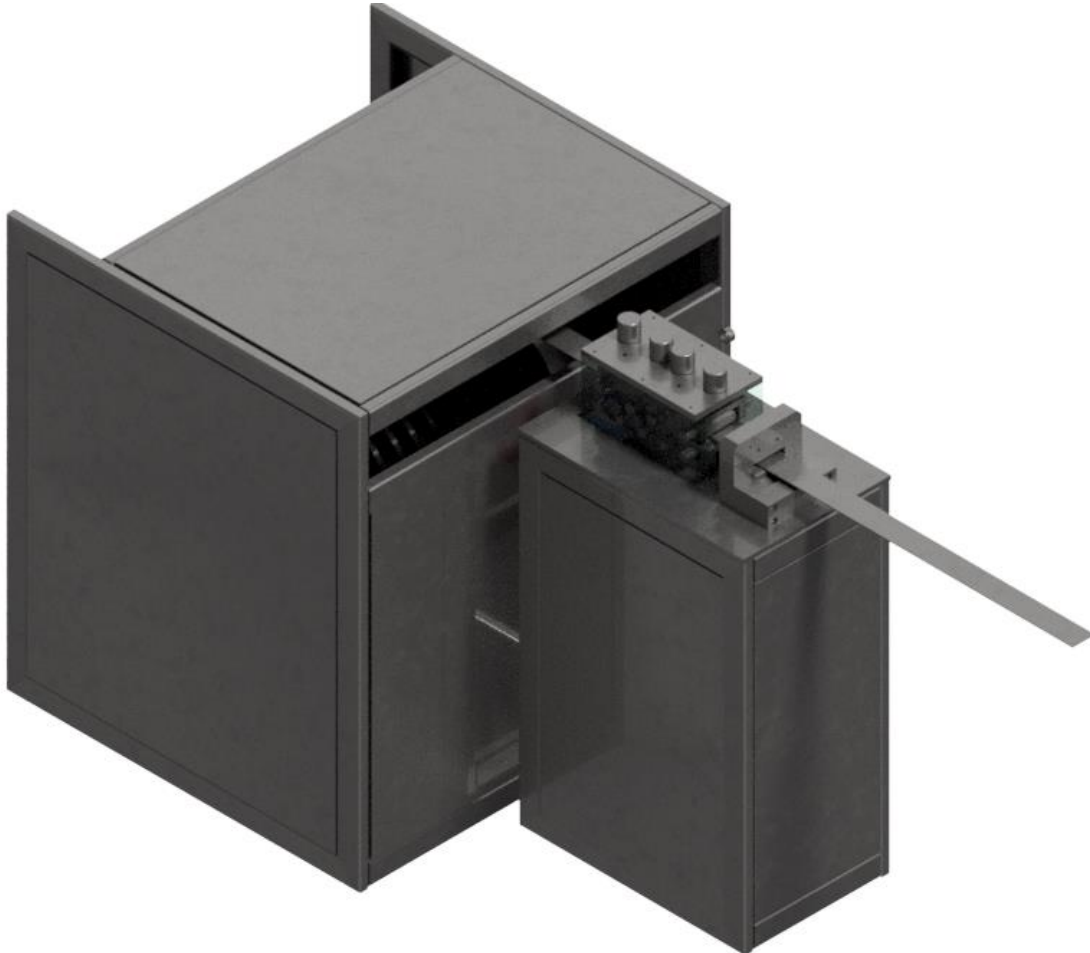


Ilustración 61. Diseño máquina de enderezado por rodillos. Fuente: Elaboración propia.


4.7 Presupuesto de fabricación de la máquina

Tabla 14. Matriz de evaluación proveedores

EMPRESA	Referencias	Precios(\$)	Garantía	Atención	% Sistema	Total
PONDERACIÓN	10%	30%	15%	10%	35%	100%
CNC REPOWERING	4,5	3,5	5	5	4	
	0,9	0,7	1	1	0,8	4,4
EDECOL	4	4	3	5	2	
	0,8	0,8	0,6	1	0,4	3,6
EDELTA	4	4	2	5	2	
	0,8	0,8	0,4	1	0,4	3,4
OSYFER	4	3,5	3	5	5	
	0,8	0,7	0,6	1	1	4,1
SERINDUCAL	4,5	5	4	5	3	
	0,9	1	0,8	1	0,6	4,3
TALLER JR	4	3	3	5	5	
	0,8	0,6	0,6	1	1	4
TROQUELTEC	4,5	5	4	5	3,3	
	0,9	1	0,8	1	0,66	4,36

Para la parte de mecanizado y chasis se tomaron en conjunto las propuestas de Serinducal y Troqueltec respectivamente, ya que éstos obtienen un puntaje 4.3 y 4.36 dado que ofrecen un mejor precio, a la vez que son dos empresas reconocidas en el sector metalmecánico, el sistema eléctrico y de potencia se halla como mejor alternativa CNC Repowering.


Para la mano de obra requerida en el ensamble posterior al suministro de componentes se consulta el costo promedio para el suministro de dos auxiliares electromecánicos con la empresa O H Tobón y Correa Ltda. Valor mano de obra: 280.000 COP.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

En la Tabla 15. Se presenta el detallado de los costos que incluyen por cada ítem el material y mano de obra, producto de las cotizaciones y consultas realizadas para presentar presupuesto final estimado para la fabricación de la máquina enderezadora de fleje.

Tabla 15. Listado precio de materiales, fabricación y mano de obra. Fuente: Elaboración Propia.

N°	PARTE	VR UNITARIO COP	C A N T	DESCRIPCIÓN	VR TOTAL COP
1	Rodillo	50.000	9	ACERO SAE4140 + TENIFER	450.000
2	Placa superior	110.000	1	SAE 1045; SEGÚN PLANO	110.000
3	Tuerca regulador	15.000	4	SAE4140; SEGÚN PLANO	60.000
4	Tornillos regulador	5.000	4	GRADO 8	20.000
5	Soporte superior rodillo	15.000	8	SAE 1045; SEGÚN PLANO	120.000
6	Platina soporte superior	25.000	4	SAE 1045; SEGÚN PLANO	100.000
7	Rodamiento Aguja	2.500	18	ISO 3245 - 41 D - 20 X 26 X 14, ABIERTO, SIN ANILLAS INT.	45.000
8	Guía tope regulador	5.000	8	EJE DIAM 3/4; SAE 1045	40.000
9	Platina lateral enderezador	130.000	2	SAE 1045; SEGÚN PLANO	260.000
10	Estructura surtidor	250.000	1	AISC HSS-2X1X1/8 TUBO RECT. 10660MM	250.000
11	Estructura base móvil	220.000	1	AISC HSS-2X1X1/8 TUBO RECT. 6425MM	220.000
12	Tapa5	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
13	Tapa1	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
14	Tapa2	20.000	2	LAMINA CR CAL.18	40.000
15	Tapa3	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
16	Tapa4	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
17	Tapa enderezador	15.000	2	LAMINA CR CAL.18	30.000
18	Cizalla mecanismo + pistón + unidad	3.200.000	1	HIDRAULICA; 2 TON	3.200.000
19	Cizalla recibidor	40.000	1	SAE1020 SEGÚN PLANO	40.000
20	Cadena de rodillos	6.000	3	ISO606-2004; 06B1; PASO CORTO 3/8" UE	18.000
21	Rueda dentada cadena rodillos	18.000	6	ISO606; 15 X 35B; CUÑERO 1/4";	108.000
22	Plato surtidor	20.000	18	SAE1020 ;SEGÚN PLANO	360.000
23	Soporte motorreductor	20.000	1	SAE1020 ;SEGÚN PLANO	20.000

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

24	Placa base enderezador	150.000	1	SAE1020 ;SEGÚN PLANO	150.000
25	Motorreductor	1.250.000	1	NORD SK 1SI 75-EC90-90S/4	1.250.000
26	Contactor Motorreductor	46.500	1	32A/220V	46.500
27	Distribuidor de potencia	31.200	1	10 A/ 2 P	31.200
28	Totalizador 10 a/ 2 p	25.600	1		25.600
29	Contactor (bomba hidráulica)	23.400	1	12A/220V	23.400
30	Protección térmica 4-6 a	32.500	1	4-6 A	32.500
31	Riel omega	4.700	1	1000MM	4.700
32	Clavija	29.900	1	4X32 A	29.900
33	Totalizador principal	25.000	1	32A/ 3P	25.000
34	Variador de velocidad	610.000	1	1,5HP/220V	610.000
35	Selector	5.800	1	MANDO DE 2 POSICIONES	5.800
36	Puentes borneras	3.600	1	4MM X 2	3.600
37	Mando start stop	6.600	1	CON PILOTO	6.600
38	Controlador de encoder	432.000	1		432.000
39	Encoder de ruedas externas	389.000	1		389.000
40	Gabinete	143.000	1	60 X 40 X 25	143.000
41	Electroválvula	420.000	1	3/2 DE 1/4 NPT. 220V	420.000
42	Varios	200.000	1	Rodamientos, cables, tornillería, otros.	200.000
43	Aux. Tec Electromecánico día	70.000	4	Mano de obra ensamble	280.000
TOTAL SIN I.V.A					9.679.800

4.8 Discusión

En el ejercicio de enderezado bajo los parámetros de diseño y el método convencional tomando como referencia 50cm de fleje se efectúa el proceso en 1 min y 4,2min respectivamente. La máquina opera con una velocidad lineal de 10m/min, por lo tanto es más rápida, y permite operar de forma segura e ideal para el proceso; el procedimiento que comprende el posicionamiento, ingreso de datos para la medición, enderezado y corte. Dado que la superficie de contacto de los rodillos con el fleje es constante y no genera estrés ni irregularidades en el material, se produce un acabado más uniforme, con especificaciones adecuadas para el proceso posterior del fleje. Al

evaluar el tema factor personal, con el nuevo diseño la fatiga física se reduce considerablemente dado que no se requiere mayor y repetido esfuerzo por parte el operario, ya que el sistema semi-automático solo requiere la intervención para el posicionamiento, ingreso de datos y corte del fleje.

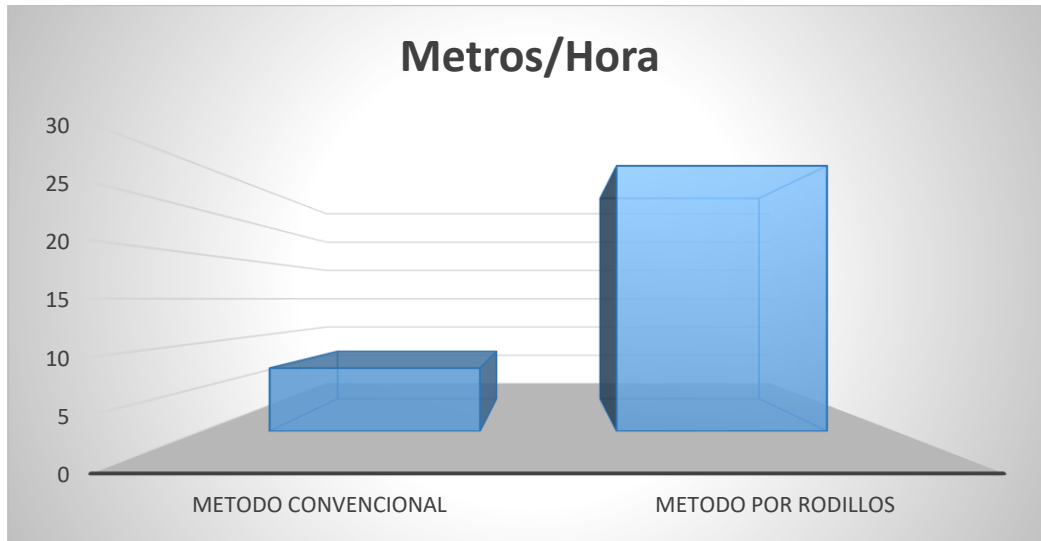


Ilustración 62. Comparativo enderezado convencional vs enderezado por rodillos. Fuente: Elaboración propia.

Analizando la gráfica se puede deducir que el sistema de enderezado por rodillos semiautomático es mucho más eficiente que un sistema por impacto de flexión repetido, logrando una reducción hasta de 76.2% en el tiempo de proceso, esto impactaría favorablemente la productividad y eficiencia dado que se tiene como resultado una mayor producción de fleje enderezado y cortado, con acabados más uniformes, además de mejorar las condiciones ocupacionales de los operadores. Si bien para implementar éste diseño en un taller de la línea de Troqueles, requiere de una inversión de fabricación cercana a 10'000.000 COP y adicionar instalación y acondicionamiento, ésta puede retornar de manera proporcional a los volúmenes de producción, la cual dependería de la capacidad comercial del taller para ofrecer sus servicios hasta el límite de la capacidad de producción en base a las especificaciones de la máquina.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- Se diseñó una máquina de enderezado para fleje metálico por rodillos, con la cual se obtiene una reducción de hasta el 76% en el tiempo de proceso de enderezado, medición y corte respecto al proceso de pedal.
- La máquina se diseñó para enderezar fleje metálico a una velocidad lineal de 10 m/min, con especificaciones de 19mm a 50mm de ancho, espesor de hasta 2.5mm, y propiedades de material de acero con límite de fluencia hasta de 510 Mpa.
- Se diseñaron los sistemas electromecánicos y de control, apoyados en cálculos matemáticos y software de computación específicos para cada uno, como: Autodesk Inventor, CadeSimu y FluidSim.
- Se presentaron los planos técnicos de construcción para los sistemas mecánicos, eléctrico, control e hidráulico que representa la cizalla. Se realizó listado y cotización de materiales requeridos, con lo que se obtuvo el costo estimado de fabricación de la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

5.2 Recomendaciones y trabajo futuro

Si se implementa un sistema de control PID, es posible automatizar el diseño, integrando todo el proceso en una unidad central; es factible la implementación de sensores que alimenten de información a un controlador del estado actual de la superficie de la lámina y este envíe señales para aumentar o disminuir la penetración de los rodillos superiores, controlando así la fuerza de doblado. Se puede adicionar un contador de unidades y generar una interfaz con un software para alimentar la información de longitudes y cantidades de fleje a cortar en un proceso. Para facilitar el uso del sistema se debe realizar un estudio de la penetración necesaria para garantizar el enderezado y definir estos parámetros, según el espesor y ancho de fleje. Ampliar los procesos en los que se puede implementar el modelo, al aumentar las especificaciones restrictivas del presente diseño evaluando los requerimientos del área metalmecánica, a donde se requiera enfocar. El sistema surtidor de fleje puede ser automatizado integrando un sistema de selección de la bobina con la cual se requiera enderezar y cortar. Implementar un sistema de transmisión por engranajes para cada rodillo permite un mejor desempeño que la transmisión por cadena, en procesos de mayor precisión es necesario su utilización, teniendo en cuenta que los costes de fabricación con cadena equivalen al 40% de los engranajes.

6 REFERENCIAS

- ARKU Maschinenbau GmbH. (s.f.). *Por que enderezar?* Recuperado el 14 de 05 de 2016, de <http://www.arku.com/>: <http://www.arku.com/es/por-que-enderezar/procesos-de-enderezado.html>
- Barbera, G. A. (mayo de 2009). *SEDICI*. Obtenido de Medición de la emisión armónica en variadores de velocidad y desarrollo de modelos de simulación: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/36361>
- Beijing, T., Mill, H. R., & Iron, W. (2015). Analysis on the Leveling Capacity of an 11-roll Leveler in 2250 Cross Cutting Line Xiaobin Ma 1, (*Icmse*), 1029–1033.
- Bio-bio, U. D. E. L., Ingeniería, F. D. E., Héctor, A., & Bustamante, D. (2010). Diseño y cálculo de una máquina curvadora de perfiles para la empresa metal mecánica ags ingenieros limitada, 1–103.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 1062. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cetinkaya, K. (2007). Design and application an integrated element selection model for press automation line. *Materials and Design*, 28(1), 217–229. <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.04.007>
- Enrique, J., Coneo, G., Antonio, C., & Yepes, P. (2014). ELIMINATION OF DIMENSIONAL IRREGULARITIES OF BLADES WORKED IN COLD THROUGH TENSIONLEVELLING, 2(3), 26–30.
- Guan, B., Zang, Y., Wu, D., & Qin, Q. (2014). Study on Mechanical Behavior of Thin-walled Member during Precision Straightening Process, 179(9), 36–42.
- Handbook, M. F., & Heidelberg, S. B. (1998). *Metal Forming Handbook. Metal Forming* (Vol. 3). <http://doi.org/10.1017/CBO9780511976940>
- Lee, J. S., Huh, H., Bae, J. G., Lee, J. W., & Kim, D. T. (2007). Design optimization of roller straightening process for steel cord using response surface methodology. *AIP Conference Proceedings*, 908, 581–588. <http://doi.org/10.1063/1.2740873>
- Marshall, C. (1876). US 1'75,365 A. Philadelphia, Pennsylvania.
- Schleinker, G., & Fischer, F. D. (2001). Residual stress formation during the roller straightening of railway rails. *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(10), 2281–2295. [http://doi.org/10.1016/S0020-7403\(01\)00041-8](http://doi.org/10.1016/S0020-7403(01)00041-8)
- Yali, Y., & Herong, J. (2012). Energy Procedia Three Roller Curvature Scotch Straightening Mechanism Study and System Design, 16, 38–44. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.008>
- Yin, J., Zhao, J., Wang, S. Y., Wan, X. S., & Li, Y. L. (2014). Principle of multi-roller straightening

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

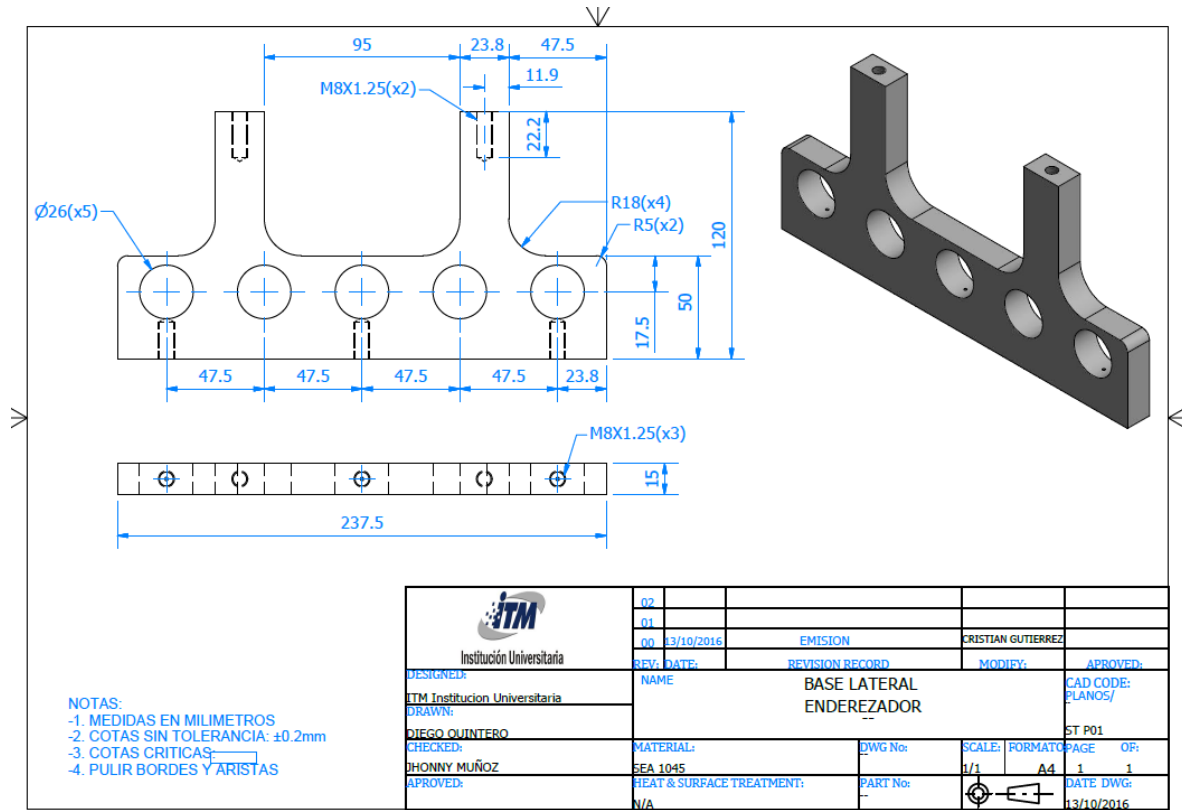
- process and quantitative resolutions of straightening strategies. *Journal of Iron and Steel Research International*, 21(9), 823–829. [http://doi.org/10.1016/S1006-706X\(14\)60148-5](http://doi.org/10.1016/S1006-706X(14)60148-5)
- Yong-qin, W., Liu, Z., & Yan, X. (2012). Evaluation of straightening capacity of plate roll straightener. *J. Cent. South Univ*, 19, 2477–2481. <http://doi.org/10.1007/s11771-012-1299-4>
- Böhler-Uddeholm. (08 de 2011). *bohler-strip*. Recuperado el 05 de 2016, de bohler-strip: <http://www.bohler-uddeholm.com.ar/media/Lineas de corte.pdf>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 1062. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cetinkaya, K. (2007). Design and application an integrated element selection model for press automation line. *Materials and Design*, 28(1), 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.04.007>
- CAP. Compañía de Acero del Pacífico S.A. (10 de 06 de 2000). *Infoaceros*. Obtenido de ¿que es el acero?: http://www.infoacero.cl/acero/que_es.htm
- Enrique, J., Coneo, G., Antonio, C., & Yepes, P. (2014). elimination of dimensional irregularities of blades worked in cold through tensionlevelling, 2(3), 26–30.
- Guan, B., Zang, Y., Wu, D., & Qin, Q. (2014). Study on Mechanical Behavior of Thin-walled Member during Precision Straightening Process, 179(9), 36–42.
- Handbook, M. F., & Heidelberg, S. B. (1998). *Metal Forming Handbook. Metal Forming* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976940>
- Instituto de la siderurgia. (2002). *iehk.rwth-aachen*. Recuperado el 07 de 2016, de Que es el acero?: <http://www.iehk.rwth-aachen.de/index.php?id=253&L=5>
- Jp Steel Plantech Co., K. A. (22 de agosto de 2013). *Patente nº 20150013418*. Yokohama-Shi, JP.
- Lee, J. S., Huh, H., Bae, J. G., Lee, J. W., & Kim, D. T. (2007). Design optimization of roller straightening process for steel cord using response surface methodology. *AIP Conference Proceedings*, 908, 581–588. <https://doi.org/10.1063/1.2740873>
- Leveltek Processing, LLC. (s.f.). *Leveltek*. Obtenido de Benefits & Differences | Leveltek Processing | West Virginia: <http://leveltek.com/stretchers-leveling/benefits-differences/>
- Linfa Yan, B. S. (14 de Octubre de 2008). *The fabricator*. Obtenido de Equations help leveler operators significantly reduce the traditional trial and error during setup.: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/reducing-setup-time-in-strip-leveling>
- Marshall, C. (1876). No.1'75,365., (1).
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elemetos de maquinas* (4 ed.). (P. M. Rojas, Ed., & V. G. Pozo, Trad.) Mexico: Pearson educacion.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

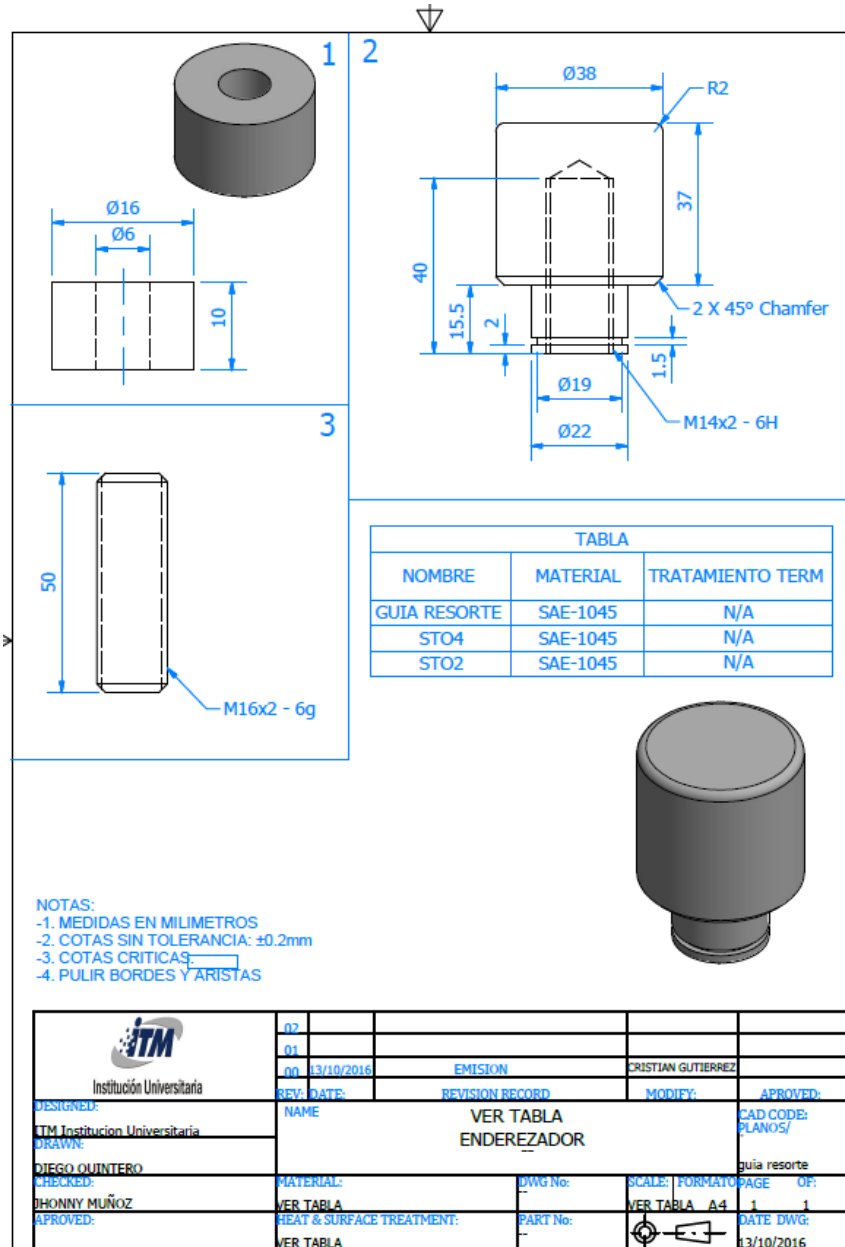
- Navarro, T. L. (1976). *Troquelado y Estampación* (5ta Edición ed.). Barcelona, España.
- Sandvik materials technology. (05 de 2004). *Sandvik Flat Bed and Rotary Diemaking Rules*. Recuperado el 14 de 06 de 2016, de http://smt.sandvik.com/globalassets/global/downloads/products_downloads/strip-steel-and-strip-based-products/sandvik-flat-bed-and-rotary-diemaking-rules-501-eng-may-2004.pdf
- Schleiner, G., & Fischer, F. D. (2001). Residual stress formation during the roller straightening of railway rails. *International Journal of Mechanical Sciences*, 43(10), 2281–2295. [https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(01\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S0020-7403(01)00041-8)
- Siemens Aktiengesellschaft . (2016). *SIEMENS*. Recuperado el 05 de 06 de 2016, de CAD / Diseño Asistido por Computadora: https://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml
- SKF. (Julio de 2006). Obtenido de Catalogo: <https://app.box.com/s/e741ee52a755d5f37fad/1/255644030/2114832189/1>
- Troqueltec SAS. (s.f.). <http://www.troqueltec.com>. Recuperado el 09 de 09 de 2016, de <http://www.troqueltec.com/productos/troqueles>
- Yali, Y., & Herong, J. (2012). Energy Procedia Three Roller Curvature Scotch Straightening Mechanism Study and System Design, 16, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.008>
- Yin, J., Zhao, J., Wang, S. Y., Wan, X. S., & Li, Y. L. (2014). Principle of multi-roller straightening process and quantitative resolutions of straightening strategies. *Journal of Iron and Steel Research International*, 21(9), 823–829. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(14\)60148-5](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(14)60148-5)
- Yong-qin, W., Liu, Z., & Yan, X. (2012). Evaluation of straightening capacity of plate roll straightener. *J. Cent. South Univ*, 19, 2477–2481. <https://doi.org/10.1007/s11771-012-1299-4>
- Zierenberg, B. (s.f.). *The New Zealand Digital Library Project*. (©. IBE, Editor) Recuperado el 05 de 2016, de Arbeitsmaterial für den Lernenden “Richten”: <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library.cgi>

Código	
Versión	
Fecha	

B. Base lateral enderezador

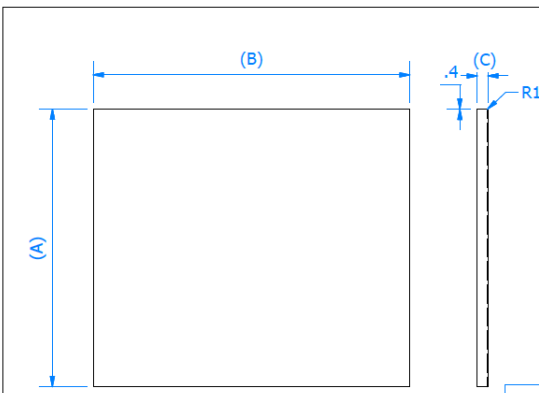


D. Plano Perilla de enderezado



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

E. Plano general tapas metálicas



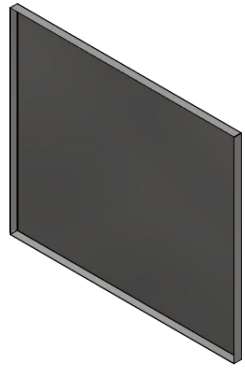



TABLA			
TAPA N°	(A)mm	(B)mm	(C)mm
1	675	770	25
2	680	808	25
3	540	770	25
4	274	650	25
5	408.584	660.878	25

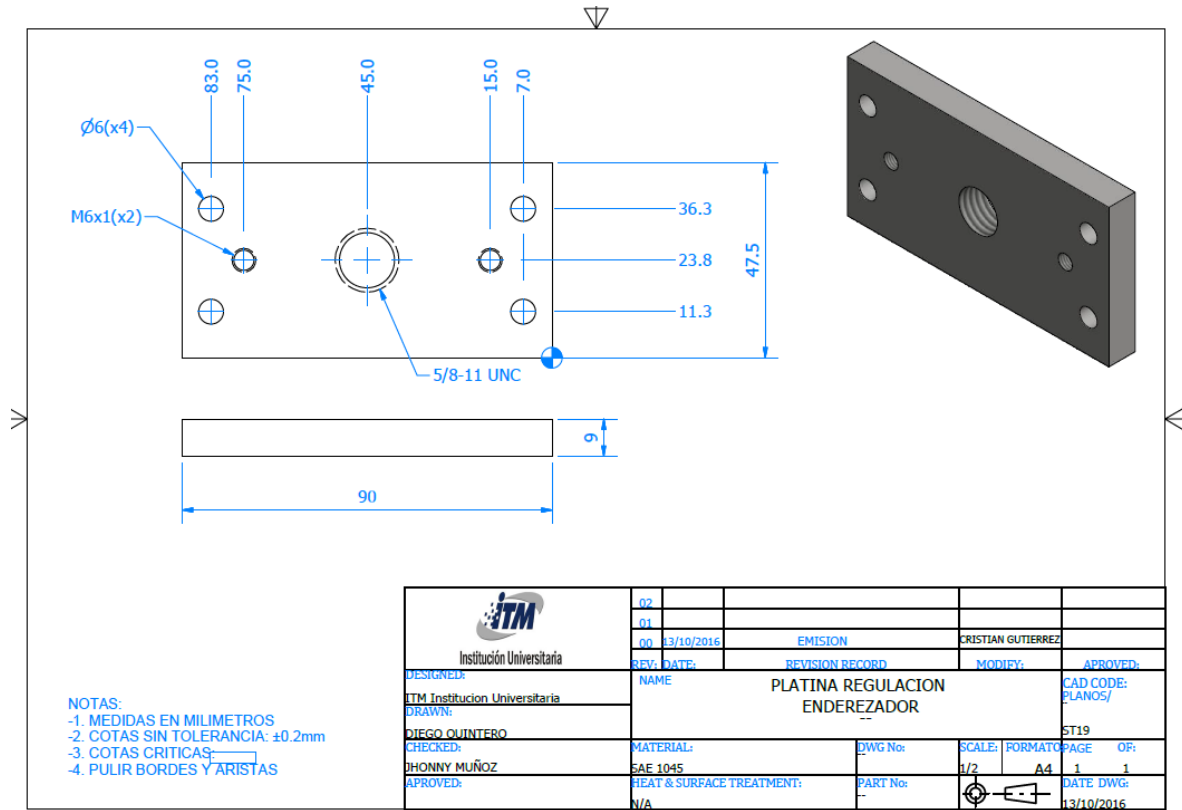
NOTAS:

- 1. MEDIDAS EN MILIMETROS
- 2. COTAS SIN TOLERANCIA: ±0.2mm
- 3. COTAS CRÍTICAS:
- 4. PULIR BORDES Y ARISTAS

 Institución Universitaria	02			
	01			
	08/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ	
DESIGNED:	NAME	REVISION RECORD	MODIFY:	APPROVED:
ITM Institución Universitaria	TAPAS			CAD CODE:
DRAWN:	--			PLANOS/
DIEGO QUINTERO				tapa1
CHECKED:	MATERIAL:	DWG No:	SCALE:	FORMATO
HONNY MUÑOZ	LAMINA CR T: 0.8mm	N/A	N/A	A4
APROVED:	HEAT & SURFACE TREATMENT:	PART No:		PAGE
	N/A			OF:
				1
				1
				DATE DWG:
				08/10/2016

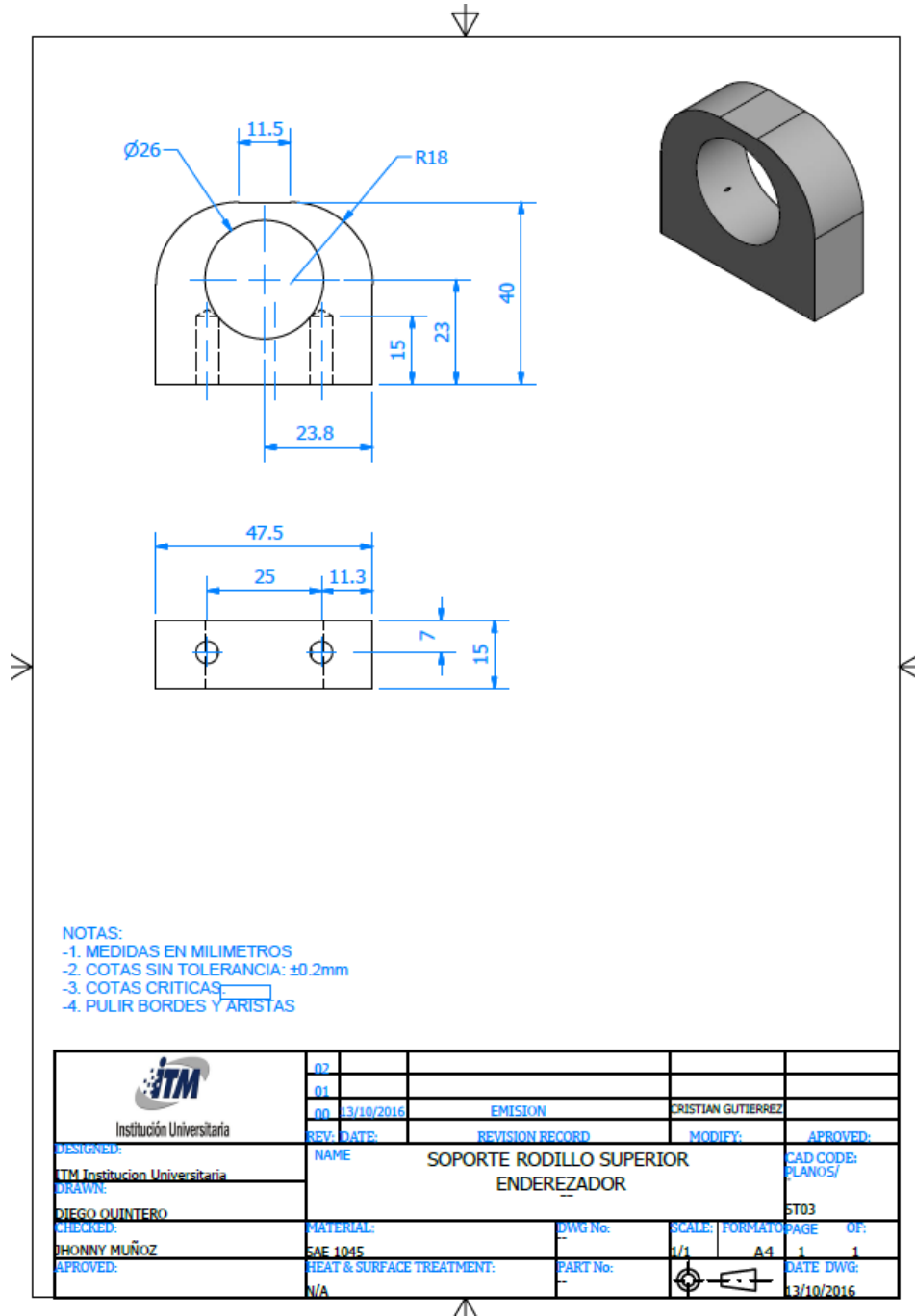
Código	
Versión	
Fecha	

F. Plano platina regulación enderezador



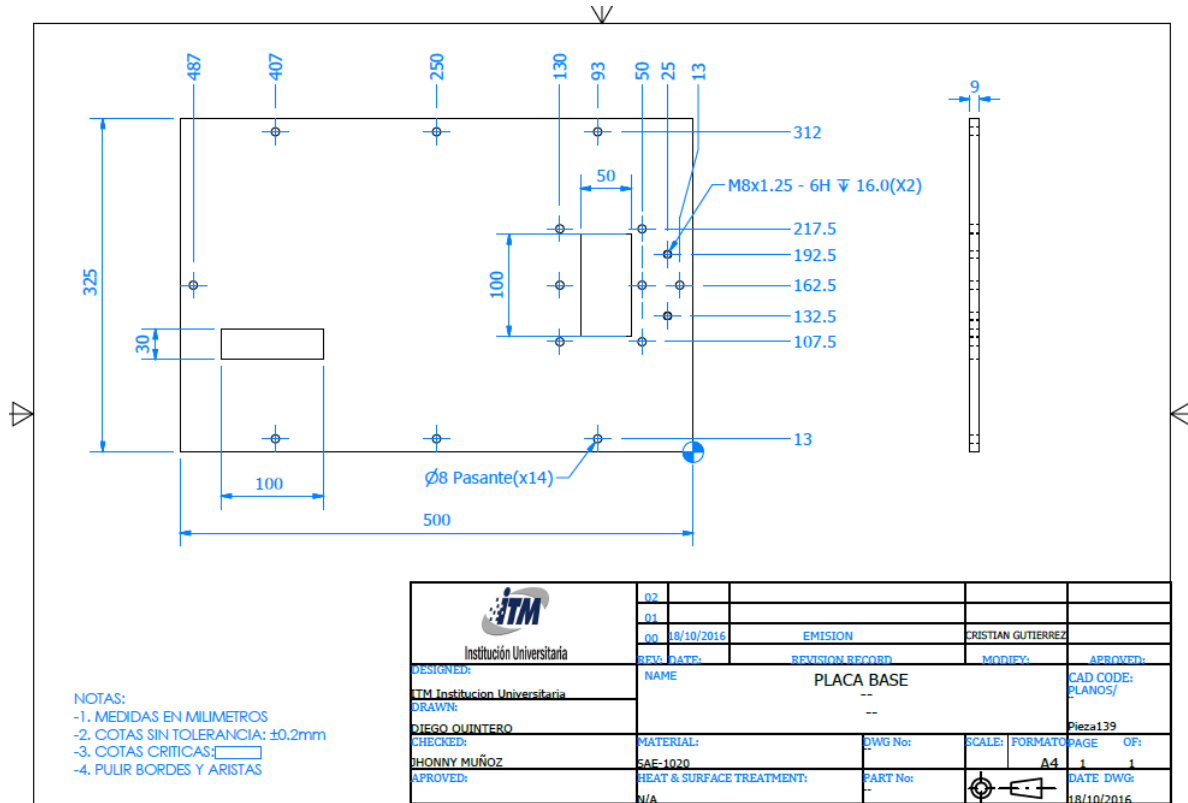
Código	
Versión	
Fecha	

G. Plano soporte rodillo superior enderezador




Código	
Versión	
Fecha	

H. Plano placa base

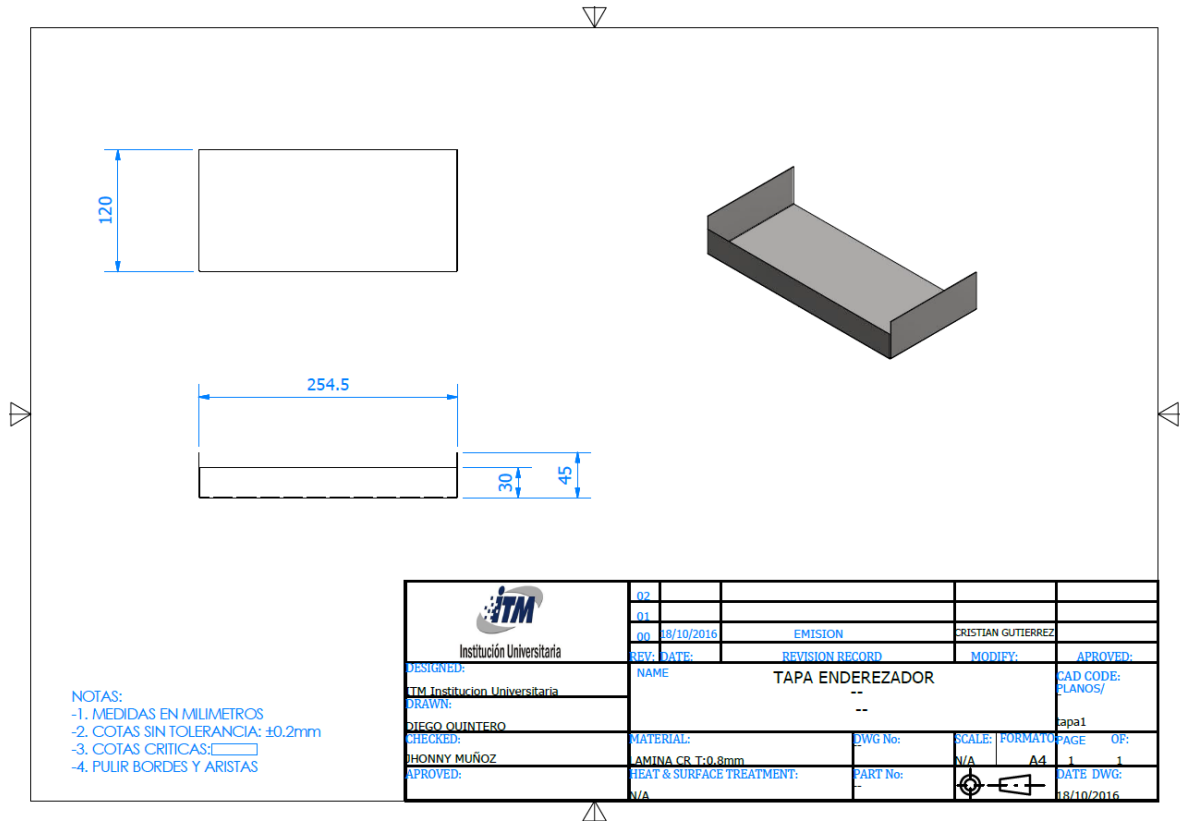


- NOTAS:
 -1. MEDIDAS EN MILIMETROS
 -2. COTAS SIN TOLERANCIA: ±0.2mm
 -3. COTAS CRITICAS:
 -4. PULIR BORDES Y ARISTAS


 Institución Universitaria	02				
	01				
	00	08/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ	
DESIGNED:	NAME	REVISION RECORD	MODIFY:	APPROVED:	CAD CODE:
ITM Institucion Universitaria	PLACA BASE				PLANOS/
DRAWN:					Pieza139
DIEGO QUINTERO	MATERIAL:	DWG No:	SCALE:	FORMATO	PAGE OF:
CHECKED:	SAE-1020			A4	1 1
HONNY MUÑOZ	HEAT & SURFACE TREATMENT:	PART No:		DATE DWG:	
APROVED:	N/A			18/10/2016	

Código	
Versión	
Fecha	

I. Plano tapa enderezador.

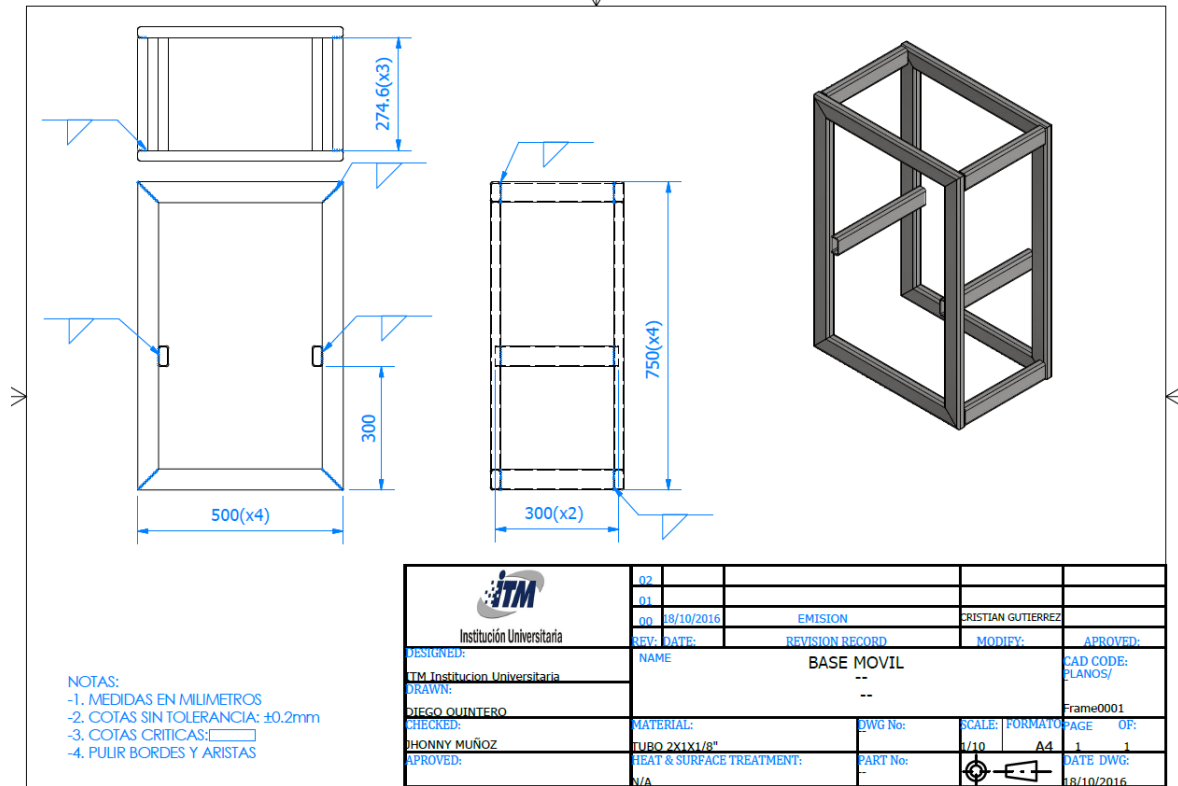


- NOTAS:
 -1. MEDIDAS EN MILIMETROS
 -2. COTAS SIN TOLERANCIA: $\pm 0.2\text{mm}$
 -3. COTAS CRITICAS:
 -4. PULIR BORDES Y ARISTAS

 Institución Universitaria	02				
	01				
	00	08/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ	
DESIGNED:	REF. DATE:			REVISION RECORD	MODIFY:
TM Institucion Universitaria	NAME				CAD CODE:
DRAWN:	TAPA ENDEREZADOR				PLANOS/
DIEGO QUIJERO	--				tapa1
CHECKED:	MATERIAL:	DWG No:	SCALE:	FORMATO	PAGE OF:
JHONNY MUÑOZ	LAMINA CR T=0.8mm		N/A	A4	1 1
APROVED:	HEAT & SURFACE TREATMENT:	PART No:	DATE DWG:		
	N/A		18/10/2016		

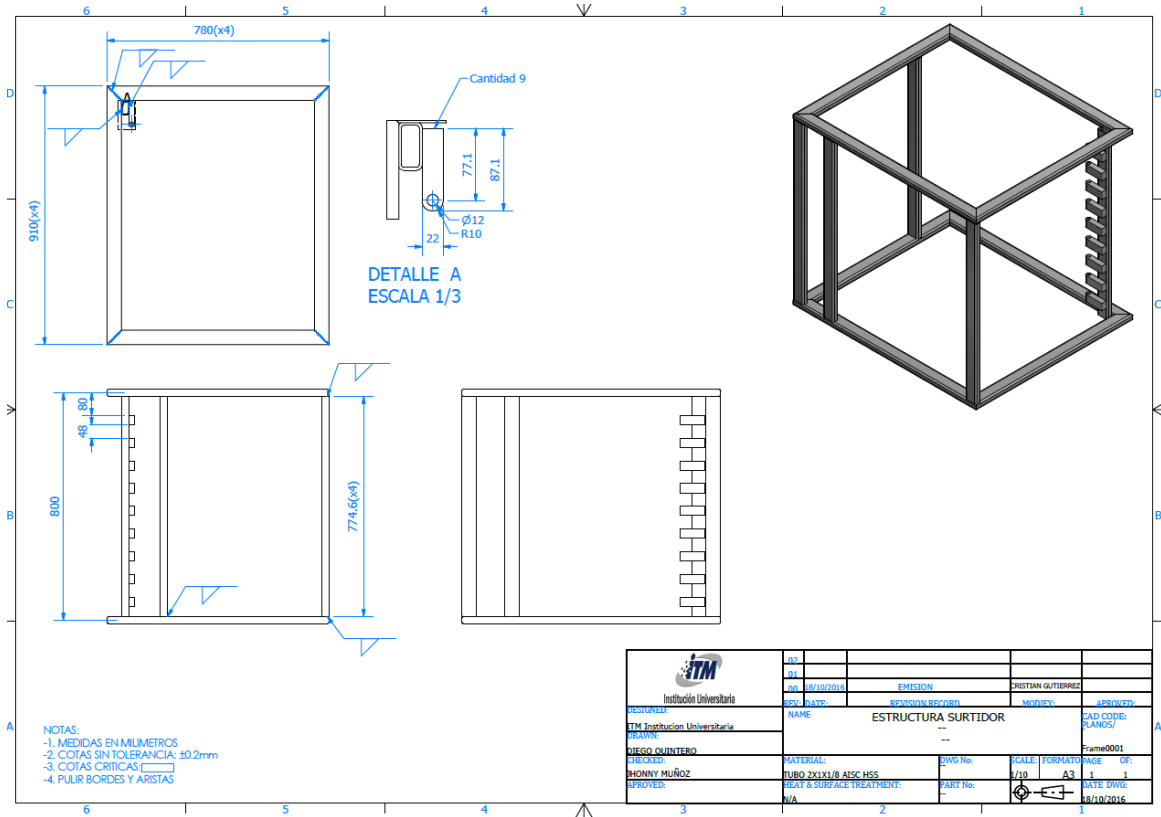
Código	
Versión	
Fecha	

J. Plano base móvil



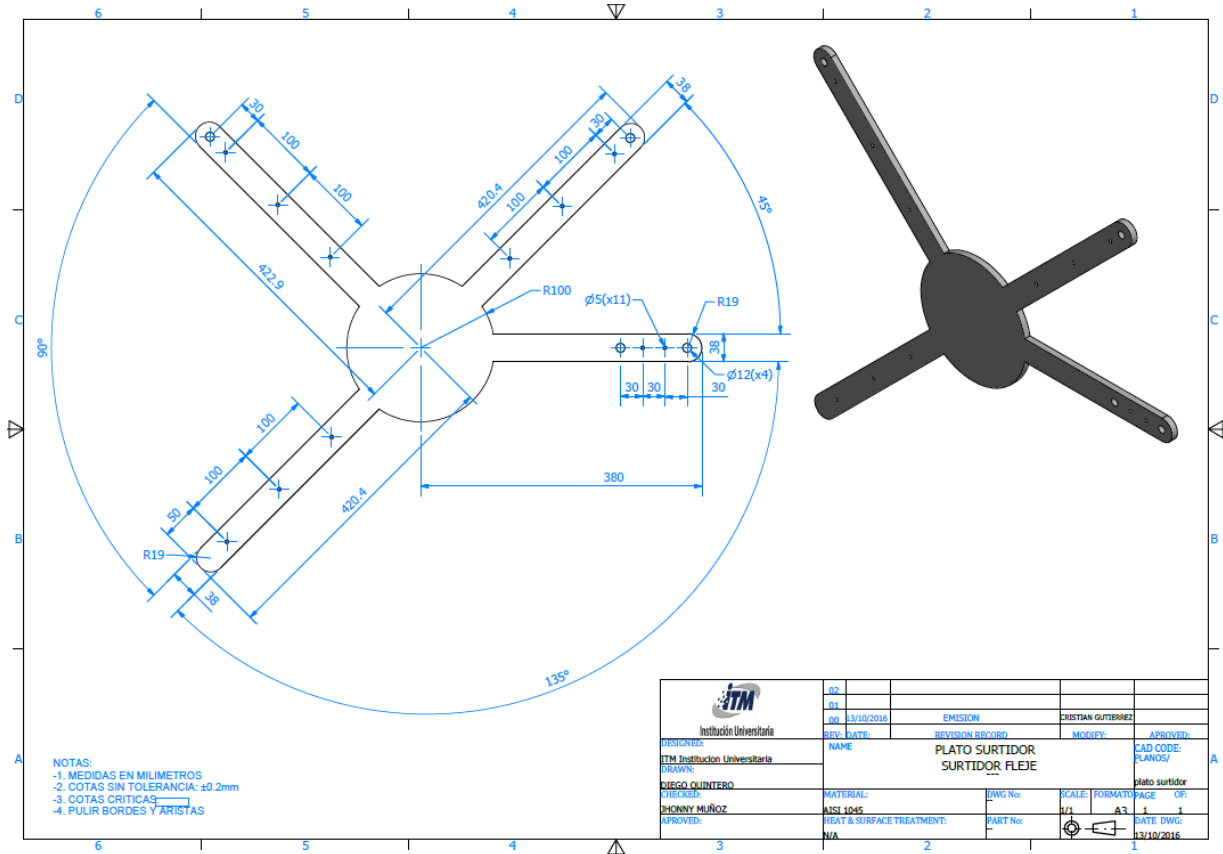
Código	
Versión	
Fecha	

K. Plano estructura surtidor



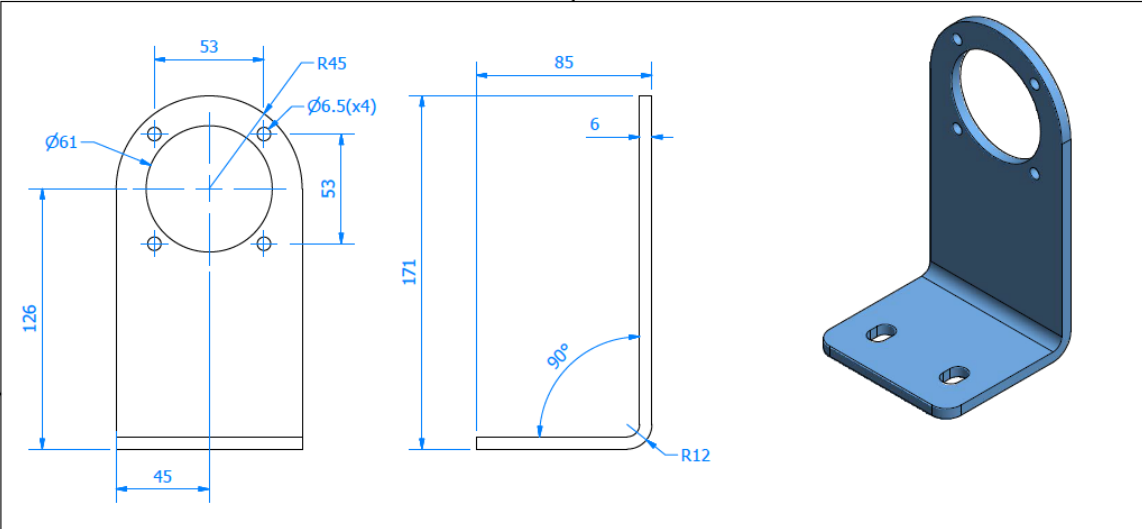
Código	
Versión	
Fecha	

L. Plato surtidor fleje




Código	
Versión	
Fecha	

M. Soporte motorreductor

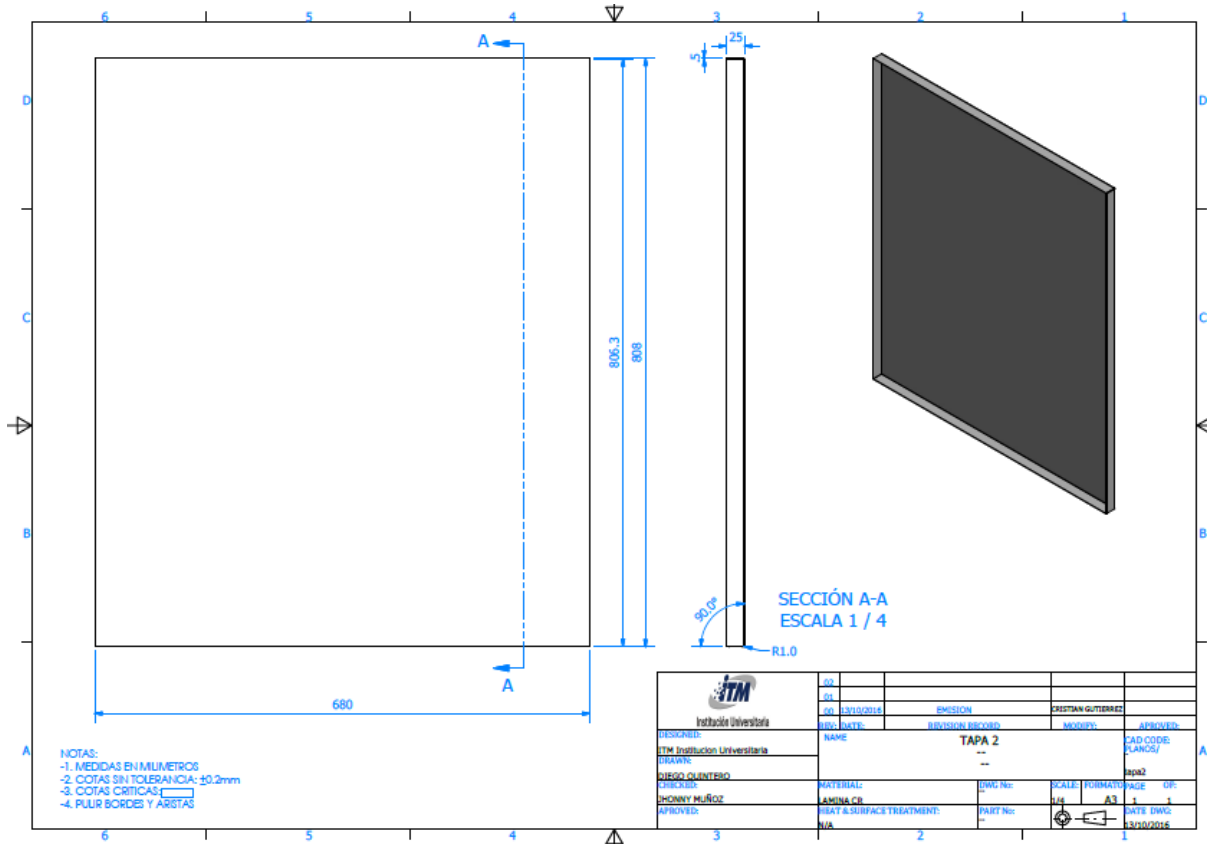


NOTAS:
 -1. MEDIDAS EN MILIMETROS
 -2. COTAS SIN TOLERANCIA: ±0.2mm
 -3. COTAS CRITICAS:
 -4. PULIR BORDES Y ARISTAS

 Institución Universitaria	02				
	01				
	00	13/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ	
DESIGNED:	NAME			SOPORTE MOTORREDUCTOR ENDEREZADOR	
ITM Institucion Universitaria				CAD CODE: PLANOS/ soporte	
DRAWN:					
DIEGO QUINTERO	MATERIAL:	DWG No:	SCALE:	FORMATO:	PAGE OF:
CHECKED:	SAE-1045		1/1	A4	1 1
DHONNY MUÑOZ	HEAT & SURFACE TREATMENT:	PART No:			DATE DWG:
APROVED:	N/A				13/10/2016

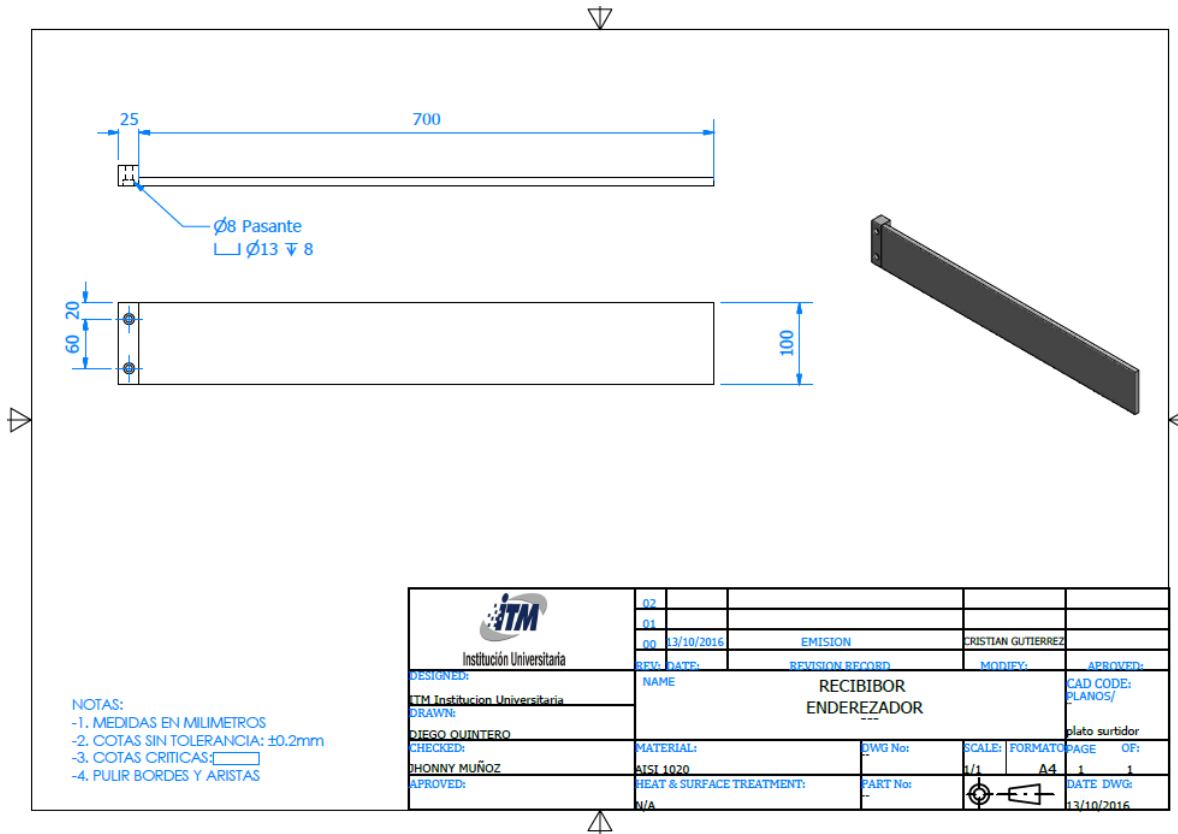
Código	
Versión	
Fecha	

N. Tapa metálica




Código	
Versión	
Fecha	

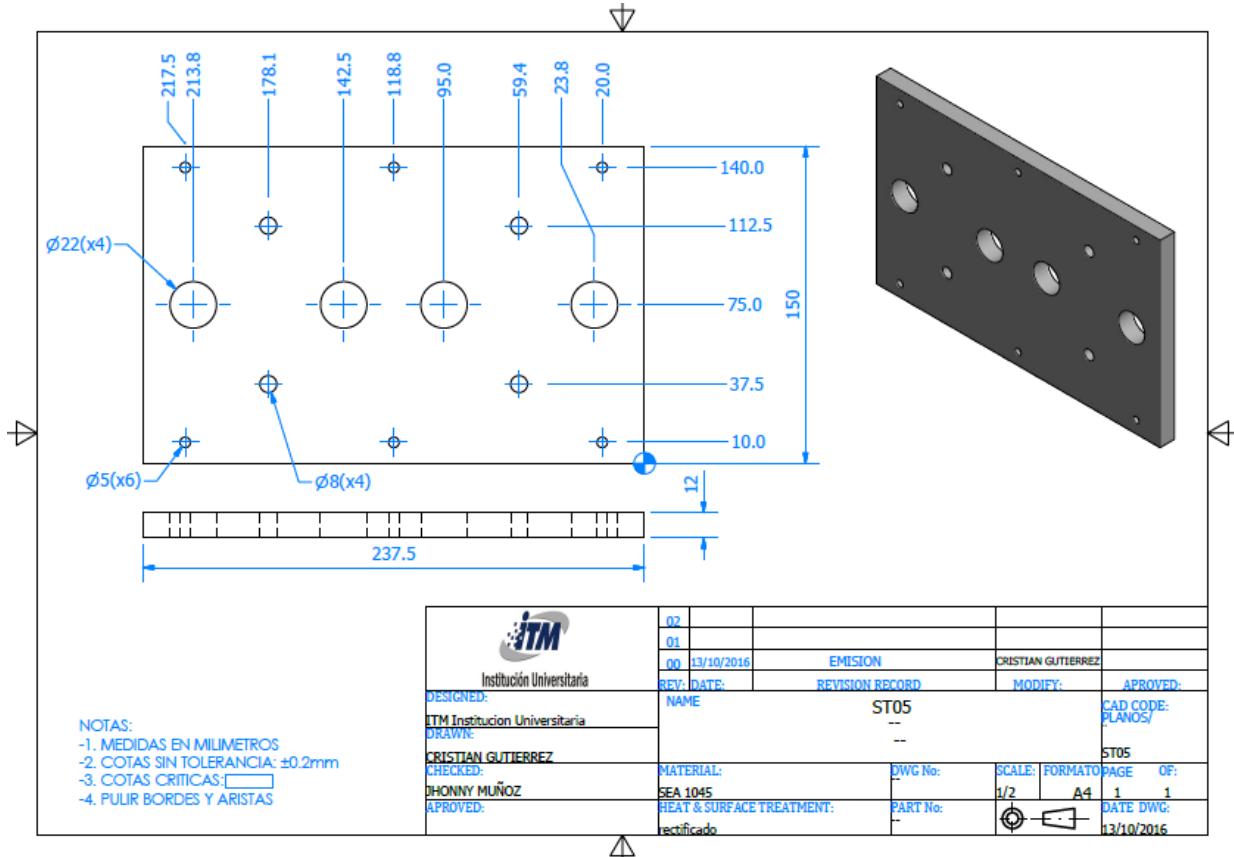
O. Plano recibidor de fleje




- NOTAS:
 -1. MEDIDAS EN MILIMETROS
 -2. COTAS SIN TOLERANCIA: ±0.2mm
 -3. COTAS CRÍTICAS:
 -4. PULIR BORDES Y ARISTAS

 Institución Universitaria	02				
	01				
	00	13/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ	
DESIGNED:	NAME	REVISION RECORD	MODIFY:	APPROVED:	
ITM Institucion Universitaria	RECIBIBOR ENDEREZADOR				CAD CODE: PLANOS/
DRAWN:					plato surtidor
DIEGO QUINTERO	MATERIAL:	DWG No:	SCALE:	FORMAT:	PAGE OF:
CHECKED:	AISI 1020	1	1:1	A4	1 1
JHONNY MUÑOZ	HEAT & SURFACE TREATMENT:	PART No:			DATE DWG:
APPROVED:	N/A				13/10/2016

Código	
Versión	
Fecha	



- NOTAS:
 -1. MEDIDAS EN MILIMETROS
 -2. COTAS SIN TOLERANCIA: ±0.2mm
 -3. COTAS CRÍTICAS:
 -4. PULIR BORDES Y ARISTAS

 Institución Universitaria	02			
	01			
	00	13/10/2016	EMISION	CRISTIAN GUTIERREZ
DESIGNED:	NAME		REVISION RECORD	MODIFY:
LTM Institucion Universitaria	ST05			APPROVED:
DRAWN:	---			CAD CODE:
CRISTIAN GUTIERREZ	---			PLANOS/
CHECKED:	MATERIAL:		DWG No:	ST05
DHONNY MUÑOZ	SEA 1045		SCALE:	FORMATO
APROVED:	HEAT & SURFACE TREATMENT:		1/2	A4
	rectificado		PART No:	PAGE
				OF:
				1 1
				DATE DWG:
				13/10/2016

Código	
Versión	
Fecha	

P. Ficha técnica cizalla comercial recomendada.

Fuente: <http://www.gilma.eu/productos/Catalog/show/g-60-cizalla-hidraulica-46>

CISAILLES HYDRAULIQUE MODELE G-60

CARACTERISTIQUES:

- Moteur 3 HP. 220/380V 50/60 Hz.
- Bombe hydraulique de 12 litres.
- Vitesse de coupure aproximative: 1800 coupes à l'heure.

CAPACITE DE COUPURES:

- Acier pour emporte-pieces trempé et révenu: 50x3 mm.
- Pletine en fer: 80x6 mm.
- Largeur de la lame: 85 mm.

IMPORTANT: Pour le maintien de la machine lire attentivement le Libre d'Instruccions.

PESOS Y MEDIDAS	WEIGHTS AND MEASUREMENTS	POIDS ET DIMENSIONS	
Peso neto	Net weight	Poids net	167 Kgs.
Peso bruto	Gross weight	Poids brut	219 Kgs.
Medidas	Measurements	Dimensions	840x520x1130 mm.
Medidas con embalaje	Packing measurements	Dimensions avec emballage	98x65x147 cm.





IMPORTANTE: Nos reservamos el derecho de cualquier modificación. **IMPORTANT:** We reserve the right on any innovation. **IMPORTANT:** Nous nos reservons le droit sur toute innovation.

Q. Ficha técnica encoder rotativo

Rotary Encoders

Incremental Type Rotary Encoder / Absolute Type (Single-turn/Multi-turn/Wire-type) Rotary Encoder / Flexible Coupling

Mark for Incremental Type Model Name: Shaft Outer Diameter/Shaft Inner Diameter, Resolution, Output Phase, Control Output

Series	Shaft Outer Diameter	Max. Response Frequency	Max. Allowable Revolution	Starting Torque	Resolution
Incremental, Ø15mm, Shaft Type Rotary Encoder E15S2-36-2-N-5-R 	Ø2mm	10kHz	3000rpm	Max. 10gf-cm (max. 0.00098N-m)	36
Series	Shaft Outer Diameter	Max. Response Frequency	Max. Allowable Revolution	Starting Torque	Resolution
Incremental, Ø18mm, Shaft Type Rotary Encoder E18S Series 	<input type="checkbox"/> Type 2: Ø2mm 2.5: Ø2.5mm	25kHz	6000rpm	Max. 10gf-cm (max. 0.00098N-m)	<input type="checkbox"/> Type 100, 200, 300, 400
Series	Shaft Outer Diameter	Max. Response Frequency	Max. Allowable Revolution	Starting Torque	Resolution
Incremental, Ø20mm, Shaft Type Rotary Encoder E20S Series 	Ø2mm	100kHz	6000rpm	Max. 5gf-cm (max. 0.00049N-m)	<input type="checkbox"/> Type 100, 200, 320, 360
Series	Shaft Inner Diameter	Max. Response Frequency	Max. Allowable Revolution	Starting Torque	Resolution
Incremental, Ø20mm, Built-in Hollow Shaft Type Rotary Encoder E20HB Series 	<input type="checkbox"/> Type 2: Ø2mm 2.5: Ø2.5mm 3: Ø3mm	100kHz	6000rpm	Max. 5gf-cm (max. 0.00049N-m)	<input type="checkbox"/> Type 100, 200, 320, 360
Series	Shaft Outer Diameter	Max. Response Frequency	Max. Allowable Revolution	Starting Torque	Resolution (<input type="checkbox"/> Type)
					To 500 To 3000

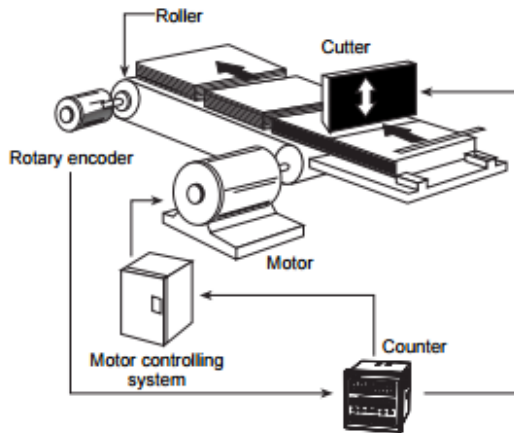
R. Función pre-escalado encoder

■ Prescale function(Counter)

This function is to set and indicate calculated unit for actual length, liquid measure, position etc. It is called "Prescale value" for measured length, measured liquid, measured position, etc per 1 pulse.

For example, P is the number of pulses per 1 revolution of a rotary encoder and L is the desired length to be measured. Prescale value is [the desired length (L)]/[the number of pulses (P) per 1 revolution of the rotary encoder]. It is the length per 1 pulse of a rotary encoder.

Ex) Control length by the counter and the rotary encoder



[In case of 22mm diameter(D) of roller connected with the encoder of 1,000 pulse]

- Prescale value = $\frac{\pi \times \text{Diameter of the roller}(D)}{\text{The number of pulses per 1 revolution of the encoder}}$
- = $\frac{3.1416 \times 22}{1000}$
- = 0.069mm/pulse

S. Ficha contador programable encoder

Programmable Counter/Timer

Specifications

Series	CTS		CTY		CTM	
Digit	4		6		6	
Model	Dual Preset	CT4S-2P□□	CT6S-2P□□	CT6Y-2P□□	CT6M-2P□□	
	Single Preset	CT4S-1P□□	CT6S-1P□□	CT6Y-1P□□	CT6M-1P□□	
	Single Preset	—	CT6S-1□□	CT6Y-1□□	CT6M-1□□	
Digit Size	Single Preset	11mm	10mm	10mm	13mm	
	Single Preset	8mm	7mm	7mm	9mm	
Power Supply	Single Preset	100-240VAC 50/60Hz				
	Single Preset	24VAC 50/60Hz / 24-48VDC				
Allowable voltage range	90 to 110% of rated voltage(AC Power type)					
Power consumption	Single Preset	Max. 12VA				
INA/INB Max. counting speed	Single Preset	AC: Max. 10VA / DC: Max. 8W				
Min. input signal width	Counter	Reset signal : Selectable 1ms, 20ms				
Input	Timer	INA, INB RESET : Selectable 1ms, 20ms				INA, INH, RESET, INHIBIT, BATCH RESET : Selectable 1ms, 20ms
	Input	Selectable voltage input or No-voltage input [Voltage input] Input impedance is 5.4kΩ, 'H' level : 5-30VDC, 'L' level : 0-2VDC [No-voltage input] Short-circuit impedance : Max. 1kΩ, Residual voltage : Max. 2VDC				
One-shot output	Count, timer : Selectable 0.01s to 99.99s					
Control output	With-out com.	Contact output	Dual preset : SPST(1a) 2EA Single preset : SPDT(1c) 1EA		Dual preset : SPST(1a) 1EA, SPDT(1c) 1EA Single preset : SPDT(1c) 1EA	
		Solid state output	Dual preset : 1NPN open collector Single preset : 1NPN open collector		Dual preset:3NPN open collector Single preset:2NPN open collector	
	With-out com.	Contact output	Dual preset : SPST(1a)2EA Single preset : SPDT(1c)1EA		Dual preset: SPST(1a), SPDT(1c) Single preset: SPDT(1c)	
		Solid state output	—		Dual preset: 1NPN open collector Single preset: 1NPN open collector	
	With-out com.	Contact output	250VAC 5A resistive load		250VAC 3A resistive load	
		Solid state output	30VDC Max. 100mA Max.		250VAC 5A resistive load	
External sensor power	12VDC ±10%, 100mA Max.					
Memory retention	10years(When using non-volatile semiconductor memory type)					
Timer	Repeat error	Power ON Start : Max. ±0.01% ±0.05 sec				
	SET error	Signal Start : Max. ±0.01% ±0.03 sec				
	Voltage error					
	Temperature error					
Insulation resistance	Min. 100MΩ(500VDC Megger)					
Dielectric strength	2,000VAC 50/60Hz for 1minute					
Noise strength (AC Power)	±2kV the square wave noise(pulse width:1μs) by the noise simulator					
Vibration	Mechanical	0.75mm amplitude at frequency of 10 to 55(for 1 min.)Hz in each of X, Y, Z directions for 1 hour				
	Malfunction	0.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each of X, Y, Z directions for 10 minutes				
Shock	Mechanical	300m/s²(approx. 30G) in each of X, Y, Z directions for 3 times				
	Malfunction	100m/s²(approx. 10G) in each of X, Y, Z directions for 3 times				
Relay Life cycle	Mechanical	Min. 10,000,000 operations				
	Electrical	Min. 100,000 operations				
Protection	IP65(Front panel only)					
Ambient temperature	-10 to 55°C, storage : -25 to 65°C					

(A)	Photo electric sensor
(B)	Fiber optic sensor
(C)	Door/Area sensor
(D)	Proximity sensor
(E)	Pressure sensor
(F)	Rotary encoder
(G)	Connector Socket
(H)	Temp. controller
(I)	SSR Power controller
(J)	Counter
(K)	Timer
(L)	Panel meter
(M)	Tachof Speed Pulse meter
(N)	Display unit
(O)	Sensor controller
(P)	Switching mode power

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

T. Ficha selección del variador de velocidad

Variantes de 230 V AC monofásicas

Los convertidores de 230 V AC monofásicos están disponibles en tres tamaños de bastidor.



Componente	Potencia nominal de salida	Corriente nominal de entrada	Corriente nominal de salida	Referencia	
				No filtrado	Filtrado
Tamaño de bastidor A (sin ventilador)	0,12 kW	2,3 A	0,9 A	6SL3210-5BB11-2UV0	6SL3210-5BB11-2AV0
	0,25 kW	4,5 A	1,7 A	6SL3210-5BB12-5UV0	6SL3210-5BB12-5AV0
	0,37 kW	6,2 A	2,3 A	6SL3210-5BB13-7UV0	6SL3210-5BB13-7AV0
	0,55 kW	7,7 A	3,2 A	6SL3210-5BB15-5UV0	6SL3210-5BB15-5AV0
	0,75 kW	10 A	3,9 A	6SL3210-5BB17-5UV0	6SL3210-5BB17-5AV0
Tamaño de bastidor A (con un ventilador)	0,75 kW	10 A	4,2 A	6SL3210-5BB18-0UV0	6SL3210-5BB18-0AV0
Tamaño de bastidor B (con un ventilador)	1,1 kW	14,7 A	6,0 A	6SL3210-5BB21-1UV0	6SL3210-5BB21-1AV0
	1,5 kW	19,7 A	7,8 A	6SL3210-5BB21-5UV0	6SL3210-5BB21-5AV0
Tamaño de bastidor C (con un ventilador)	2,2 kW	27,2 A	11 A	6SL3210-5BB22-2UV0	6SL3210-5BB22-2AV0
	3,0 kW	32 A	13,6 A	6SL3210-5BB23-0UV0	6SL3210-5BB23-0AV0





U. Ficha técnica Fleje acero, Sandvik 0C404 strip Steel.

Sandvik 0C404 Strip Steel





Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Special-Purpose Steel](#)

Material Notes: Information provided by Sandvik

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add

 [Printer friendly version](#)
 [Download as PDF](#)
 [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)
 [Export data to your CAD/FEA program](#)


Physical Properties	Metric	English
Density	7.10 g/cc	0.257 lb/in ³

Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	670 MPa	97200 psi
	1050 MPa	152000 psi
	40.0 MPa	5800 psi
	@Temperature 900 °C	@Temperature 1650 °F
	580 MPa	84100 psi
	@Temperature 200 °C	@Temperature 392 °F
Tensile Strength, Yield 	510 MPa	74000 psi
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %
	1000 MPa	145000 psi
	@Strain 0.200 %	@Strain 0.200 %
	20.0 MPa	2900 psi
	@Strain 2.00 %, Temperature 900 °C	@Strain 2.00 %, Temperature 1650 °F
	325 MPa	47100 psi
	@Strain 2.00 %, Temperature 200 °C	@Strain 2.00 %, Temperature 392 °F
Elongation at Break	<= 1.0 %	<= 1.0 %
	>= 15 %	>= 15 %
	25 %	25 %
	@Temperature 200 °C	@Temperature 392 °F
	150 %	150 %
	@Temperature 900 °C	@Temperature 1650 °F

Electrical Properties	Metric	English
Electrical Resistivity 	0.000138 ohm-cm	0.000138 ohm-cm
	@Temperature 20.0 °C	@Temperature 68.0 °F
	0.000140 ohm-cm	0.000140 ohm-cm
	@Temperature 400 °C	@Temperature 752 °F
	0.000146 ohm-cm	0.000146 ohm-cm
	@Temperature 800 °C	@Temperature 1470 °F
Curie Temperature	556 °C	1030 °F

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

V. Cotización suministros eléctricos y de control CNC Repowering.

 CNC REPOWERING AUTOMATIZACION INDUSTRIAL		COTIZACIÓN 778 NIT: 900.503.809 - 5 IVA REGIMEN COMUN No somos Grandes Contribuyentes. Carrera 53 N° 34-19 Telefono: 262 58 92 www.cncrepowering.com.co		
Fecha: 10 de Octubre de 2016 Cliente: CARLOS AGUDELO Correo: Telefonos: 2550422				
Codigo	Descripción	Cant.	VR. Unitario	Total
00936	Contactador 32A/220V	1	\$ 46.500	\$ 46.500
36204	Distribuidor de potencia	1	\$ 31.200	\$ 31.200
09636	Totalizador 10 A/ 2 P	1	\$ 25.600	\$ 25.600
00915	Contactador 12A/220V (Bomba Hidraulica)	1	\$ 23.400	\$ 23.400
01339	Proteccion termica 4-6 A	1	\$ 32.500	\$ 32.500
11370	Riel Omega x 1000mm	1	\$ 4.700	\$ 4.700
700236	Clavija 4x32 A	1	\$ 29.900	\$ 29.900
09364	Totalizador 32A/ 3P(Principal)	1	\$ 25.000	\$ 25.000
V-20	Variador de velocidad 2HP/220V	1	\$ 610.000	\$ 610.000
M-220	Motorreductor NORD SK 1SI 75-75-EC90-90S/4	1	\$ 1.250.000	\$ 1.250.000
19200	Selector (Mando de 2 posiciones)	1	\$ 5.800	\$ 5.800
35979	Puentes borneras 4mm x 2	1	\$ 6.600	\$ 6.600
G-60X40X25	Gabinete 60 x 40 x 25	1	\$ 143.000	\$ 143.000
19101	Mando Star stop con piloto	1	\$ 25.900	\$ 25.900
CT6M-2P4	Controlador de encoder.	1	\$ 432.000	\$ 432.000
ENC-1-1-T-24	Encoder de ruedas externas	1	\$ 389.000	\$ 389.000
E-3/2	Electrovalvula 3/2 de 1/4 Npt. 220V	1	\$ 420.000	\$ 420.000
U-2HP	Unidad Hidraulica 2 HP	1	\$ 2.150.000	\$ 2.150.000
H-40	Piston Hidraulico 40mm Ø de camisa/ 25mm barra /100mm de recorrido	1	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000
Observaciones:	No Incluye gastos de envío. Cotizacion valida por 15 dias, apartir de la fecha.		Sub Total iva 16%	\$ 6.701.100 \$ 1.072.176
			Total	\$ 7.773.276
Forma de Pago	Contado			
Tiempo entrega				
Datos bancarios	A nombre de CNC Repowering S.A.S. Cuenta de ahorros Bancolombia # 072-808446-37 CTA.CTE BBVA 001304110100004302 Dudas o inquietudes favor contactar al correo asistente@cncrepowering.com.co			

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

W. Cotización fabricación de partes estructurales Troqueltec SAS.

TROQUELTEC S.A.S.

DESDE 1992
 AGILIZA SU PROCESO DE CORTE
 NIT: 811.000.560-5

Medellín, febrero 15 de 2017

Señor:

Jhonny Alexander Muñoz
 Cel 3012586781

Cordial Saludo.

Envió cotización solicitada

N°	PARTE	VR UNITARIO COP	CAN T	DESCRIPCIÓN	VR TOTAL COP
10	Estructura surtidor	250.000	1	AISC HSS-2X1X1/8 TUBO RECT. 10660MM	250.000
11	Estructura base móvil	220.000	1	AISC HSS-2X1X1/8 TUBO RECT. 6425MM	220.000
12	Tapa5	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
13	Tapa1	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
14	Tapa2	20.000	2	LAMINA CR CAL.18	40.000
15	Tapa3	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
16	Tapa4	20.000	1	LAMINA CR CAL.18	20.000
17	Tapa enderezador	15.000	2	LAMINA CR CAL.18	30.000


Nota estos valores más IVA


 EDILBERTO ARRIOLA
 Gerente
 NIT: 811.000.560-5

Carrera 44 A # 39 32 PISO 2 Barrio San Diego PBX 444 31 90 Medellín Colombia
 Email: - troqueltec@une.net.co
www.troqueltec.com

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

X. Cotización fabricación de componentes mecanizados Serinducal MYN SAS.



SERINDUCAL M&N S.A.S.
 Soluciones Metalomecánicas Para La Industria
 SERINDUCAL M&N S.A.S.
 448-00-98 -320-766-59-59
 serinducal@hotmail.es
 Régimen común
 900.570.450-0

Fecha Cotización	12-11-2016
------------------	------------

JHONY ALEXANDER MUÑOZ HENAO
 MEDELLIN
 Colombia
NIT: 1.128.388.099

Código	Concepto	Cantidad	Precio	Total
N/A	Rodillo	9	50.000,00	450.000,00
N/A	Placa superior	1	110.000,00	110.000,00
N/A	Tuerca regulador	4	15.000,00	60.000,00
N/A	Tornillos regulador	4	5.000,00	20.000,00
N/A	Soporte superior rodillo	8	15.000,00	120.000,00
N/A	Platina soporte superior	4	25.000,00	100.000,00
N/A	Guía tope regulador	8	5.000,00	40.000,00
N/A	Platina lateral enderezador	2	130.000,00	260.000,00
N/A	Cizalla recibidor	1	40.000,00	40.000,00
N/A	Plato surtidor	18	20.000,00	360.000,00
N/A	Soporte motorreductor	1	20.000,00	20.000,00

página 1 de 2

Suma y sigue...	1.580.000,00
------------------------	---------------------

SERINDUCAL M&N S.A.S.

Municipio de Caldas. Kilometro 4 vía Caldas-La Pintada. Bodega 1, Vereda La Salada
 448-00-98 320-766-59-59 423-09-97

Cancelar a nombre de Serinducal m&n sas. cta ahorros Bancolombia 54190583476

Código	
Versión	
Fecha	



COTIZACIÓN

N° Cotización	01685
Fecha Cotización	12-11-2016

Código	Concepto	Cantidad	Precio	Total
N/A	Placa base enderezador	1	150.000,00	150.000,00

SERINDUCAL M&N S.A.S.

página 2 de 2	Valor neto:	1.730.000,00
	Total IVA (16%):	276.800,00
	Monto total (COP):	\$2.006.800,00

CONSIGNAR A CUENTA DE AHORROS BANCOLOMBIA N° 541-90583476 - SERINDUCAL M&N S.A.S.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

Z. Cotización Mano de obra ensamble O H Tobón Y Correa



Código	
Versión	
Fecha	

AA. Cotización maquinado y estructura OSYFER

Medellin, 28 de febrero de 2017

Señor: Diego Quintero

ASUNTO: cotización maquina enderezadora.

DESCRIPCION	VLR UNITARIO	CANTIDAD	VLR TOTAL
Rodillos principales	75.000	9	675.000
Placa superior	125.000	1	125.000
Tuercas de regulador	10.000	4	40.000
Tornillos de regulador	4.000	4	16.000
Soporte superior de rodillos	15.000	8	120.000
Platina soporte superior	50.000	4	200.000
Gulas tope de regulador	10.000	8	80.000
Platina lateral	175.000	2	350.000
Enderezador cizalla recibidor	90.000	1	90.000
Plato surtidor	35.000	18	630.000
Soporte para moto reductor	30.000	1	30.000
Placa base enderezador	250.000	1	250.000
Estructura de surtidor	280.000	1	280.000
Estructura base móvil	280.000	1	280.000
Tapa 1	30.000	1	30.000
Tapa 2	30.000	1	30.000
Tapa 3	30.000	2	60.000
Tapa 4	30.000	1	30.000
Tapa 5	30.000	1	30.000
Tapa del enderezador	25.000	2	50.000

Código	
Versión	
Fecha	

Nota las partes se fabrican según especificación de materiales y planos de fabricación adjuntos recibidos.

Todo esto por el valor de tres millones trescientos noventa y seis mil pesos (\$3.396.000) más IVA.

Espero que ésta sea de su entera satisfacción.



OSCAR ALBERTO MONCADA

C.C 71.591.199

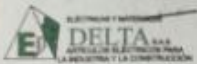
TALLER INDUSTRIAL OSYFER

TELS: 235-07-27 315-445-7190

KRA 54 N 29 C 8

BELEN ZONA INDUSTRIAL.

BB. Cotizaciones Varias



DELTA S.A.S.
ASISTENCIA ELECTRICA PARA LA INDUSTRIA Y LA CONSTRUCCION

Alvaro Muñetones Flórez Cel: 310 896 79 66

Carrera 55 No.51-19 PBX: 448 17 25
E-mail: electricasdelta@une.net.co
Medellin - Colombia

COTIZACIÓN

Nº 8464

FECHA		
DIA	MESES	AÑO
29	02	2014

COD.	CANT.	ARTICULO	VR. UNIT.	VR. TOTAL
	1	Contactor 32A. 220V.	41.400	
		Totalizador JOA./2P	22000	
		para riel	-	
		Contactor 12A. 220V.	23000	
		Proteccion termico 4-6A	37.000	
		Riel ongg 1mt.	4000	
		Clavijo 4x32A.	23000	
		Totalizador 32A. 3P	32000	
		para riel	-	
		Variador de velocidad	823000	
		2HP 220V. monofa.	-	
		Selector mando 2P	6000	
		Peante bornero 4mm	1800	
		Gabinete 60x40x25	375.000	
		Mando Star Stop 9P	22000	
		Controlador de encender	-	
		Encender de rueda extemp	560.000	
		IVA INCLUIDO		
		IVA INCLUIDO	➔	

EDECOL® S.A. ELÉCTRICOS DE COLOMBIA Un Proveedor Integral		D M A
Contactos 32 A		60:300
totalizador 10 A		99600
Contactos 12 A		27000
Relé 1		142.000
Relé Omega		3700
Clavija 4x32		16400
totalizador 32A		99600
Selector		24000
Borneros		5000 1/2
caja 60x40x30		340.000
Mando Start/stop		40300
Electrovalvula 3/4 220		38.000
Más 19% de iva		
ALMACÉN EL ELECTRÓN		
MATERIALES ELÉCTRICOS E HIDROSANITARIOS		
Asesor comercial		
Cóm: 231 42 00 - Fax: 313 10 44		
Cel: 313 797 54 07		
Calle 52 No. 54 - 42 Medellín		

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	
		Versión	
		Fecha	

CC. Brochures y presentaciones varias.





CNC REPOWERING
AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

PRODUCTOS

Cajas de control ensambladas



Servo motores AC y DC



Acoples flexibles de aluminio y tipo araña



Guías lineales



NUESTROS SERVICIOS

- * Automatización industrial.
- * Repotenciación de maquinas y herramientas.
- * Maquinados especiales.
- * Venta de componentes eléctricos.
- * Producción de repuestos metal mecánicos.
- * Diseño y fabricación de maquinas autónomas.
- * Compra y venta de elementos y partes para la automatización.
- * Compra y venta de repuestos metal mecánicos.
- * Compra y venta de maquinaria metal mecánica.
- * Importación y exportación de repuestos de maquinaria metal mecánica.
- * Prestación de servicios y asesorías técnicas en el sector metal mecánico.

Asesorías técnicas y selección de componentes GRATIS



Cra 53 # 34 - 19 Tel: 262 58 92 Cel: 300 201 31 71
 E-mail: ventas@cncrepowering.com.co
www.cncrepowering.com.co

Código	
Versión	
Fecha	

Acerca de SERINDUCAL MYN SAS SERINDUC...

SOMOS UNA EMPRESA QUE OFRECE SOLUCIONES METALMECANICAS PARA LA INDUSTRIA, TRABAJOS EN TORNO, FRESADORA, TALADRO Y SOLDADURA, CONTAMOS CON EQUIPOS Y PERSONAL CAPACITADO PARA CUMPLIR CON TODOS LOS REQUERIMIENTOS DE NUESTROS CLIENTES

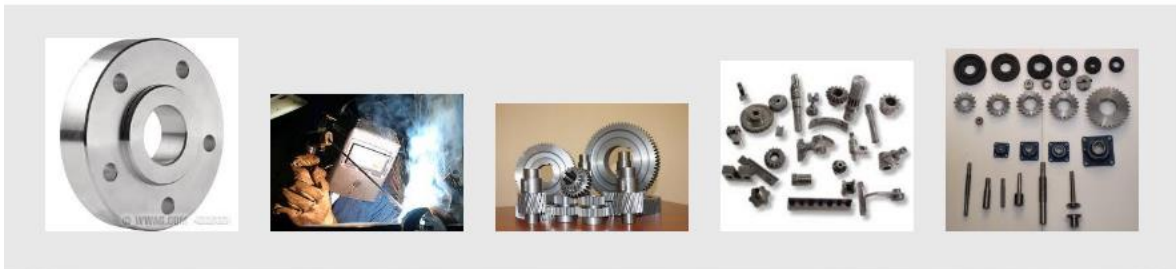
Información de contacto

Teléfono: 4480098
Ciudad:
País:
Dirección: Cra 48 no 130 sur 39

Registrado desde: Lunes, 14 Enero 2013 10:15

Visitas a este perfil: 950 visitas

Algunos de **nuestros productos y servicios**





INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	
Versión	
Fecha	

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO__ ACEPTADO ____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____