



**Diseño y construcción de máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico
para la empresa ISEK S.A.S de Tunja**

Jorge Luciano Robles Malagón

20451914438

Hamir Alberto Mojica Mojica

20451917172

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2021

**Diseño y construcción de máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico
para la empresa ISEK S.A.S de Tunja**

Jorge Luciano Robles Malagón

Hamir Alberto Mojica Mojica

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Msc. Omar Franklin Rojas Moreno

Línea de Investigación:

Diseño mecánico

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “Diseño y construcción de máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico para la empresa ISEK S.A.S de Tunja”, cumple con los requisitos para optar al título de ingeniero mecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Tunja, noviembre de 2021

(Dedicatoria)

Este trabajo está dedicado a Dios y a nuestros hijos quienes han creído en nosotros y han sido la fortaleza necesaria para superar los obstáculos de la vida. Gracias a ellos aprendimos a valorar cada uno de nuestros logros y trataremos siempre de ser un ejemplo de superación, sacrificio y humildad.

Gracias a cada una de las personas que han contribuido en este gran logro en nuestras vidas, esperamos contar siempre con ustedes y con todo el apoyo que nos han brindado.

Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia.

Anónimo

Agradecimientos

A la Universidad Antonio Nariño, especialmente a sus docentes y personal administrativo quienes estuvieron a lo largo de la carrera profesional.

Al ingeniero Omar Rojas por la orientación y ayuda que nos brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo incondicional y amistad que nos han permitido aprender mucho más de lo expuesto en este proyecto.

Al ingeniero Carlos Batista por su apoyo, por servir de guía y brindar sus conocimientos relacionados con el funcionamiento de maquinaria.

Por último, un agradecimiento especial a nuestros hijos y personal de la empresa Coindelco S.A.S. por toda la colaboración prestada para llevar a cabo este proyecto de grado.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstract	12
Introducción.....	13
1. Marco teórico	23
1.1 Diseño mecánico	23
1.1.1 Importancia	24
1.2 Doblado	25
1.2.1 Tipos de doblado	28
1.2.2 Límites del doblado	31
1.2.3 Esfuerzos	32
1.2.4 Recuperación elástica	35
1.3 Tipos de máquinas usadas en el mercado	37
1.3.1 Dobladora manual marca Raleigh	37
1.3.2 Dobladora manual JD2 modelo 3	38
1.3.3 Dobladora JMR hidráulica	38
1.3.4 Dobladora hidráulica Pro-Tools HB 302	39
1.3.5 Dobladora hidráulica Huth Heavy Duty Tube & Pipe Bender	40
1.3.6 Dobladora a rodillos Ercolina CE40MR3	40
1.3.7 Dobladora con accionamiento CNC (Control numérico computarizado).....	41
1.3.8 Dobladora manual o eléctrica para fabricar codos	42
1.4 Normatividad.....	45
2. Diseño	47
2.1 Cálculo de la fuerza necesaria para doblar el tubo.....	47
2.2 Cálculo de la velocidad a la que se debe hacer cada proceso	49
2.3 Cálculo de la potencia mínima requerida por la máquina y selección del motor	49
2.4 Cálculo del sistema de transmisión Cadena – Catarina	51
2.5 Diseño de la estructura y elección del material.....	55
2.6 Cálculo del eje principal.....	57
2.7 Simulación	66
3. Construcción y análisis económico	70
3.1 Construcción	70
3.2 Presupuesto	77

3.3 Análisis económico	78
3.4 Análisis de eficiencia energética.....	79
4. Pruebas funcionales.....	80
Conclusiones	86
Recomendaciones	88
Anexos.....	89
Referencias Bibliográficas	109

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Tubo doblado en la empresa ISEK por medio de cortes y soldadura.....	14
Figura 2: Máquina de doblado de tubos modelo proporcionada por ISEK	15
Figura 3: Plano proporcionado por ISEK con detalles de la máquina dobladora	15
Figura 4: Etapas del diseño	24
Figura 5: Productos manufacturados obtenidos por doblado.....	25
Figura 6: Naturaleza del doblez	26
Figura 7: Curva de esfuerzo-deformación unitaria	27
Figura 8: Curva de recuperación elástica.....	27
Figura 9: Doblado con pistón.....	29
Figura 10: Dobladora con rodillos	30
Figura 11: Doblado por compresión	30
Figura 12: Doblado por arrastre.....	31
Figura 13: Dimensiones que caracterizan la recuperación elástica	33
Figura 14: Momento flector en una viga sometida a flexión	33
Figura 15: Distribución de esfuerzo en una viga sometida a flexión.....	34
Figura 16: Viga de sección transversal sometida a fuerza de corte v	34
Figura 17: Proceso de sobre doblado	35
Figura 18: Deformación plástica al final de carrera.....	36
Figura 19: Doblez sometido a compresión durante el proceso	36
Figura 20: Dobladora manual Raleigh.....	37
Figura 21: Dobladora manual JD2 modelo 3.....	38
Figura 22: Dobladora JMR hidráulica	39
Figura 23: Dobladora hidráulica Pro-Tools HB 302.....	39
Figura 24: Dobladora hidráulica Huth Heavy Duty Tube & Pipe Bender.....	40
Figura 25: Dobladora a rodillos Ercolina CE40MR3	41
Figura 26: Dobladora con accionamiento CNC (Control numérico computarizado)	42
Figura 27: Groover Elbow Machine Model 300.....	43
Figura 28: MEL – Manual Elbow Machine	43
Figura 29: Tubo circular al cual se le está ejerciendo presión uniforme por medio de mordazas.....	44
Figura 30: Mecanismo biela-manivela accionador del mecanismo delantero	44
Figura 31: Formulas de módulo de sección para tubos.....	48
Figura 32: Motorreductor de 2.4 Hp suministrado por ISEK	51
Figura 33: Factor de servicio para transmisión por cadena	52
Figura 34: Capacidades en caballos de fuerza – Cadena simple de rodillos número 80	53
Figura 35: Detalle de las dimensiones del sistema de transmisión	55

Figura 36: Propiedades del Acero SAE 1045	56
Figura 37: Diseño final de la estructura del equipo	56
Figura 38: Elementos del eje principal	57
Figura 39: Dimensiones del eje y sus elementos	58
Figura 40: Distancia entre el eje principal y motorreductor	59
Figura 41: Ángulo de inclinación de la fuerza F_c	60
Figura 42: Diagrama de fuerzas aplicadas en el eje Y	62
Figura 43: Representación de fuerzas y reacciones en el eje	63
Figura 44: Diagrama de fuerza cortante	63
Figura 45: Diagrama de momento flector	64
Figura 46: Diseño final de la máquina dobladora de tubos	65
Figura 47: Análisis de tensiones de von Mises	67
Figura 48: Análisis de desplazamiento estático	67
Figura 49: Factor de seguridad del eje principal	68
Figura 50: Deformación unitaria en la estructura	69
Figura 51: Componentes de la máquina hechos en cortadora eléctrica	70
Figura 52: Biela siendo sometida a taladrado	71
Figura 53: Eslabón de mecanismo delantero siendo sometida a taladrado	72
Figura 54: Estructura de la máquina	72
Figura 55: Ángulo de soporte y cortes frontales	73
Figura 56: Conformado del mecanismo delantero de la máquina	74
Figura 57: Perfeccionamiento del ángulo de corte de la cremallera a avance	74
Figura 58: Cuña de desplazamiento	75
Figura 59: Montaje del mecanismo trasero	75
Figura 60: Unión por soldadura de las guías y tubos	76
Figura 61: Máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico	77
Figura 62: Tubos de 4" para pruebas funcionales	80
Figura 63: Mecanismo delantero abierto	81
Figura 64: Mecanismo delantero cerrado	81
Figura 65: Comprobación del ajuste del tubo	82
Figura 66: Prueba funcional número 1	83
Figura 67: Curvas realizadas en las pruebas funcionales - Evidencia 1	84
Figura 68: Curvas realizadas en las pruebas funcionales - Evidencia 2	84

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Dimensiones de un tubo de galvanizado según Norma COVENIN 843-84.....	47
Tabla 2: Presupuesto	77
Tabla 3: Resultados de las pruebas funcionales.....	83

Resumen

La empresa ISEK S.A.S se encarga de la fabricación de todo tipo de productos en metal, principalmente el doblado y corte de tubos metálicos. El objetivo de este proyecto, es realizar el diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico para uso de la mencionada compañía, con el fin de reducir el tiempo que les toma fabricar curvas en lámina galvanizada, proceso que actualmente es llevado a cabo por 2 operarios por medio de cortes y soldadura. Para la creación del diseño, en primera medida, se llevan a cabo cálculos de la fuerza mínima que necesita el tubo para doblarse, y paralelamente, la potencia mínima que debe tener el motor eléctrico para asegurar el movimiento de la misma; se encontró que para realizar el doblado en un tubo de galvanizado se requieren 1165,95 Newton de fuerza por cada metro, y que se requiere de una potencia de 0,204 Hp para efectuar el proceso. Adicionalmente, se calculó el mecanismo de transmisión por cadena, esto con base en un estudio del eje que entra en contacto con la catarina, y que contiene los elementos con los que se hace el avance y se acciona el mecanismo encargado del doblado, además, por medio de un estudio económico y varias simulaciones, se comprueba que el diseño es viable y que garantiza el correcto funcionamiento de sus componentes. Finalmente, al poner la máquina en operación se tiene como resultado final el doblado de una curva, en aproximadamente 40 segundos.

Palabras clave: Diseño mecánico, construcción, dobladora, tubo en galvanizado.

Abstract

The ISEK S.A.S company is responsible for the manufacture of all types of metal products, mainly the bending and cutting of metal tubes. The objective of this project is to design and build a tube bending machine with electric drive for use by the aforementioned company, in order to reduce the time it takes to manufacture curves in galvanized sheet, a process that is currently being carried out. carried out by 2 operators by means of cuts and welding. To create the design, first of all, calculations are made of the minimum force that the tube needs to bend, and in parallel, the minimum power that the electric motor must have to ensure its movement; It was found that to make the bend in a galvanized tube, 1165.95 Newtons of force are required for each meter, and that a power of 0.204 Hp is required to carry out the process. Additionally, the chain transmission mechanism was calculated, this based on a study of the shaft that comes into contact with the ladybug, and that contains the elements with which the advance is made and the mechanism in charge of the bending is activated, in addition, Through an economic study and several simulations, it is verified that the design is viable and that it guarantees the correct functioning of its components. Finally, when putting the machine into operation, the final result is the bending of a curve, in approximately 40 seconds.

Keywords: Mechanical design, construction, bending machine, galvanized tube.

Introducción

En ingeniería, el proceso de diseñar se realiza con el propósito de ayudar en la implementación de un sistema que se encargue de satisfacer una o varias necesidades específicas, esto con el fin de facilitar y agilizar una labor realizada por un operario, o en la mejora de un proceso en relación a costo – beneficio – rapidez, entre otros factores. Para poder llevar a cabo un diseño de cualquier tipo de maquinaria, es necesario reunir una serie de conocimientos para llevar a la práctica la teoría de las ciencias básicas y, junto con conocimientos en ingeniería, ser capaz de transformar recursos para satisfacer un objetivo específico.

Tal y como se menciona en el libro “Fundamentos del Diseño Mecánico” [1], diseñar es un proceso complejo que requiere de integrar diversos métodos para ser desarrollado, y dar un resultado favorable encaminado a encontrar la solución a un problema, entre estas partes está el establecer objetivos y especificaciones, realizar síntesis y análisis, así como llevar a cabo construcción, pruebas y evaluación de prototipos; adicional a esto, se destaca la importancia que tienen factores económicos, sociales y ambientales a la hora de proponer una solución técnica a un problema por medio de una máquina. Por lo tanto, el diseño y construcción son factores centrales en las innovadoras tecnologías aplicadas.

La empresa ISEK, ubicada en el municipio de Tunja, se dedica a la fabricación de productos de metal, actualmente el doblado de tubos es realizado por 2 operarios, uno de ellos se encarga de realizar cortes en el tubo que serán posteriormente soldados por el segundo empleado, y así finalizar el proceso (Figura 1), esto no sólo ralentiza el maquinado, sino que puede poner en riesgo la salud del personal humano, debido a que por cualquier tipo de falla humana o mecánica pueden salir heridos.

Figura 1: Tubo doblado en la empresa ISEK por medio de cortes y soldadura



Fuente: Autores – Tomada en ISEK S.A.S

El propietario de la compañía manifestó el deseo que tenía de adquirir una máquina para doblar los codos, de la cual tenía algunas referencias encontradas en diferentes redes sociales e internet en general (Figura 2), entre las que se encuentra un plano que detalla las dimensiones y, de igual manera, se observan algunas de las características principales del modelo (Figura 3). Según la información encontrada por él, la única forma de obtener la máquina es importando la debido a que no se fabrican en el país, siendo un factor que eleva de forma significativa su valor, causa que impide su adquisición.

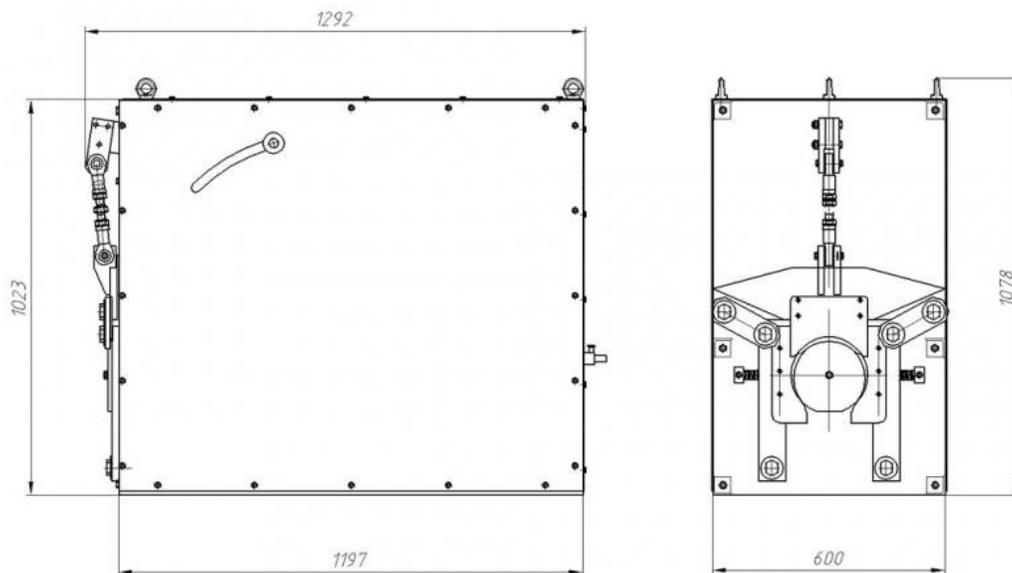
En razón de lo antes expuesto, nace este proyecto, en el que, con base en las referencias proporcionadas por el propietario de ISEK S.A.S, se busca construir una máquina con características similares. Basándose en el estudio bibliográfico realizado, el equipo mostrado en la Figura 2 es una versión artesanal hecha con base en máquinas estructuradas por empresas como Grove Machine, Lyberty Seamless Enterprises, entre otras, de las que se hablará más a detalle en el acápite del marco teórico.

Figura 2: Máquina de doblado de tubos modelo proporcionada por ISEK



Fuente: Hurciuc Ilie – Youtube [2]

Figura 3: Plano proporcionado por ISEK con detalles de la máquina dobladora



Fuente: Evolutioner Company [3]

El propósito u objeto principal de este proyecto es diseñar y construir una máquina con accionamiento eléctrico que pueda doblar tubos de lámina galvanizada con diámetros desde 2

pulgadas, hasta 5-1/2 pulgadas. Para ello, es necesario tener en cuenta las características dadas por la empresa y, a la vez, la meta de curvas que quieren alcanzar, es decir, 480 tubos por día. La limitación principal del proyecto es la poca información que se tiene acerca del modelo, y, adicional a ello, la intención de que el accionamiento no sea por palanca como se observa en la Figura 2, sino electrónicamente, pues para ello es necesario calcular la potencia que debe suministrar el motor para realizar el doblado, además de elegir y calcular el mecanismo de transmisión más adecuado para realizar el diseño final que será construido.

Al finalizar el desarrollo de este proyecto se espera que durante las pruebas funcionales se pueda comprobar la operatividad de la máquina como un conjunto, al igual que la movilidad de cada una de las piezas que lo componen. Por medio del doblado de al menos 10 tubos, se buscará asegurar que tanto la fuerza como la potencia calculada sean correctas, así como verificar que el tiempo por proceso sea lo suficientemente rápido como para cumplir las metas.

A la empresa ISEK se le entregará un equipo completamente funcional, capaz de doblar tubos desde una medida de 2" hasta 5-1/2", la cual será accionada con un motor eléctrico que permitirá reducir el esfuerzo físico de los operarios, previniendo enfermedades y a su vez mejorando la productividad de la empresa disminuyendo los tiempos en el doblado de los tubos.

Descripción del problema

El método usado actualmente para fabricar curvas en lámina galvanizada es un sistema rudimentario de varios cortes y soldadura, con lo cual toma como requerimiento el uso obligatorio de dos operarios, el operario número uno se encarga de cortar el tubo a los grados predispuestos por el diseño de la curva y el operario número dos es el encargado de realizar el proceso de soldadura, es importante destacar que la implementación de esta máquina, actualmente, no se

acoge a las competencias mínimas exigidas para el trabajo metalmecánico seguro tal y como lo especifica en su página principal inter empresas “riesgos generales a la empresa” [4].

La producción de la máquina dobladora de tubos tendrá una aplicación en el sector de la construcción, específicamente en sectores de desarrollo como ductos de ventilación, manejo de aguas lluvias y escapes de calentadores con gas natural, por ello, busca mejorar las condiciones de trabajo para los empleados, tales como disminución de riesgos físicos causados por la soldadura y las herramientas manuales de corte, disminución de tiempo invertido por unidad mejorando la producción y a su vez, facilitando el proceso de doblado de tubos.

De la misma manera, es preciso mencionar que en la ciudad de Tunja no existe esta máquina, o alguna de características similares, para la prestación del servicio de doblado, por lo que, se genera como consecuencia que aquellos usuarios que requieran de este servicio se vean en la obligación de desplazarse a ciudades aledañas para poder satisfacer aquella necesidad, perdiendo así, tiempo y capital por un servicio que puede prestarse con mayor cercanía.

El beneficio directo que se obtendrá con el diseño y construcción de la máquina será para la empresa ISEK de la ciudad de Tunja, la cual cuenta con diferentes clientes tanto en la ciudad como en municipios adyacentes, todos referentes al sector de la construcción. En un estudio realizado por el Observatorio Regional del Mercado de Trabajo (ORMET-Boyacá), se demuestra que el sector metalmecánico presentará un gran crecimiento en el departamento con ayuda de la implementación de nuevas tecnologías en los procesos actuales, lo que conlleva a que se requiera aumentar la capacitación del personal con el fin de orientar su conocimiento hacia el manejo de máquinas y herramientas para mejorar procesos [5].

Con lo anterior se plantea el siguiente problema ¿de qué forma se puede hacer más eficiente el sistema actual de doblado de tuberías que lleva a cabo la empresa ISEK S.A.S de Tunja?

Objetivos

Objetivo general

Realizar el diseño y construcción para una máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico para la empresa ISEK de la ciudad de Tunja.

Objetivos específicos

- Diseñar una máquina dobladora de tubos de 2" a 5"1/2 en lámina galvanizada y realizar la respectiva simulación mediante uso de un Software CAD.
- Construir el mecanismo y la estructura de la máquina dobladora de acuerdo a los diseños realizados previamente por ISEK.
- Realizar pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de la máquina dobladora de tubos.

Justificación

ISEK S.A.S. es una empresa de la ciudad de Tunja dedicada a procesos de fabricación relacionados con estructuras metálicas, especialista en encontrar soluciones factibles para mantenerse en el mercado nacional, utilizando como mecanismo de marketing el reducir costos con la implementación de nuevas tecnologías.

En la actualidad, dicha empresa presenta la necesidad de diseñar y construir una máquina con accionamiento eléctrico para el doblado de tubos de 2 pulgadas a 5-1/2 pulgadas, con el fin de optimizar sus procesos; con la construcción de esta máquina la empresa se beneficiará reduciendo el tiempo en el proceso de doblado de tubos y aumentando la productividad. Actualmente este

proceso toma un lapso de tiempo con un intervalo de 15 a 20 minutos, lo cual se espera reducir a un promedio de 5 minutos por uso, de tal manera que la suma de este tiempo como ganancia mostrará una mayor productividad al final del día.

La empresa cuenta con datos que reflejan una producción estimada de 24 curvas diarias y 600 trabajos mensuales aproximadamente dependiendo el flujo de ventas, de manera que con la reducción de tiempo y optimización del proceso de la máquina construida se espera que la fabricación pase a ser de 96 diarias y un promedio de 2400 mensuales. Se tiene claro el propósito principal con el diseño y construcción de esta máquina, parametrizando los aspectos que especifica Robert L. Mott en su libro “Diseño de elementos de máquinas” en cual menciona que: *“El objetivo final de un diseño mecánico es obtener un producto útil que satisfaga las necesidades de un cliente”* [6] .

Una de las utilidades más importantes a tener en cuenta es que se eliminarán los riesgos laborales respecto a los esfuerzos físicos causados por el actual procedimiento de fabricación que ejecutan los operarios. Con la construcción de la dobladora con accionamiento eléctrico, se evitará que los operarios realicen un sobre esfuerzo físico durante el proceso, por lo tanto, se garantizará que el operario realice el trabajo con mayor seguridad y la empresa disminuirá los gastos adicionales que se generan por accidentes con los trabajadores.

Más allá de establecer un buen espacio de trabajo y unas condiciones ideales para la realización de productos, se tiene que enfatizar en un elemento importante para el desarrollo de la empresa y la relación directa que tiene con sus empleados, se tiene claro que el perfeccionamiento de labores en una empresa metalmecánica tiene una gran consideración de esfuerzo, tanto físico como mental, el cual puede resultar en variantes que afectan la salud de los operadores.

Tal y como es explicado por los ingenieros industriales Mervyn Márquez Gómez y Jubete Zambrano Suárez, quienes en un estudio indican que, en la industria es bastante común que se genere estrés laboral, debido a que, al someter a un operario por un tiempo prolongado a este, es factible que se aumente la posibilidad de sufrir accidentes o que haya abandono del cargo en la organización, de modo que, como conclusión emplear una mejor máquina en el proceso mantiene a los empleados saludables y genera un buen desarrollo de sus labores como operario [7].

Metodología

Para la realización de este proyecto en el cual se realiza el diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico, se desarrollan las etapas señaladas a continuación con las cuales se dará cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos.

- 1. Diseño:** en esta fase se pretende llegar a un diseño preliminar de la máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico, esto se logra realizando un análisis bibliográfico del modelo suministrado por la empresa para posteriormente, por medio de los cálculos de las partes críticas para el funcionamiento del equipo como lo son el motor, el sistema de transmisión y el eje, encontrar el diseño idóneo. En esta etapa también se hará uso de un software CAD para ilustrar cada una de las piezas del equipo, el ensamble de las mismas y la planimetría necesaria para su construcción.
- 2. Construcción:** con los planos y especificaciones de diseño encontradas en la etapa 1 se procede a cortar cada una de las piezas que contendrá el equipo y que son necesarias para su armado. Se iniciará por soldar las partes que forman la estructura y posteriormente se procederá a unir las partes móviles. Finalmente se ensambla el mecanismo delantero que se encargará del doblado, las matrices y moldes con los diferentes diámetros requeridos.

Una vez se complete el ensamblaje y ajuste de las partes móviles de la máquina, se procede a ensamblar el tablero de control eléctrico para su respectivo funcionamiento. Adicionalmente, con el fin de evaluar la viabilidad del diseño, se realizará un estudio económico que permita dar un tiempo estimado de recuperación de la inversión por parte de la empresa.

3. Pruebas: en la tercera y última etapa se hacen una serie de pruebas con las que se busca garantizar el funcionamiento de la máquina y de cada uno de sus componentes, estas pruebas están compuestas por las siguientes actividades:

- a. Realizar pruebas de movilidad de las piezas instaladas siguiendo el diseño hecho en software CAD
- b. Poniendo en marcha funcional y operativa, proceder a doblar un conjunto de tubos para asegurar que la curva se realiza de manera correcta y probar también que el mecanismo delantero y los moldes están bien hechos y ensamblados.
- c. Tomar el tiempo aproximado que le toma a la máquina realizar una curva, esto con el fin de comprobar que la potencia que suministra el motor es la suficiente para cumplir con la velocidad por proceso calculada.

Para el desarrollo de las pruebas funcionales se espera que por el alto costo que tiene una lámina de acero galvanizado solo se pueden doblar alrededor de 6 curvas, lo ideal sería hacer un número más alto de dobleces, pero el presupuesto lo impide.

Alcance

El propósito principal del proyecto es ofrecer una máquina con nuevas características que facilite el trabajo de doblado de tubos desde 2" hasta 5-1/2", utilizando varios mecanismos biela

balancín, impulsados por un motor eléctrico con reductor de velocidad; este será controlado por el operario con botones de on/off e interruptor de fin de carrera el cual controla el proceso del doblado, lo anterior con la finalidad de aumentar la producción y mejorar la calidad del producto, también, de esa manera se minimizan los riesgos por esfuerzo físico de los operarios y los costos económicos para la empresa.

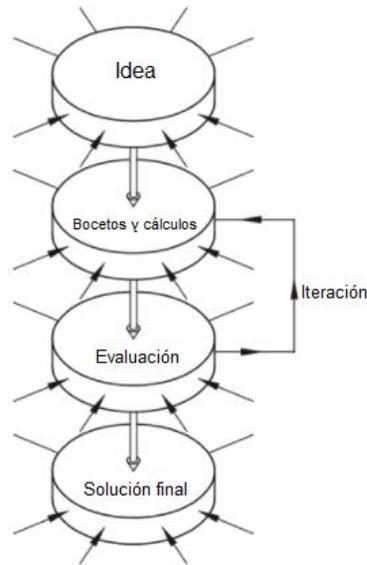
1. Marco teórico

1.1 Diseño mecánico

Entre las diversas actividades que se desarrollan en ingeniería, el proceso de creación o de diseño de un equipo puede ser el más apasionante y su vez el más complejo. Para poder llevar a cabo un diseño se parte de una serie de características es necesario conocer acerca de teoría de máquinas, cálculo y simulación de las mismas, de esta forma poder dar soluciones creativas que permitan llegar a un modelo final que cumpla con ciertos atributos de funcionamiento, que sea segura y además, que económicamente sea un proyecto viable. [8]

Otra forma de entender el diseño es refiriéndose a él como un proceso de invención en el que se realiza una visualización, cálculo y especificación de los detalles que van a concretar una idea, generalmente se finaliza al proveer una serie de dibujos o representaciones informáticas que van a permitir la fabricación y el posterior uso del mismo. Algunos autores coinciden en que, si bien cada persona cuenta con un modo distinto y único de llevar a cabo sus proyectos, se cuenta siempre con al menos 4 etapas, las cuales se representan en la Figura 4 [9].

Figura 4: Etapas del diseño



Fuente: Mechanical design – Childs [9]

1.1.1 Importancia

Construir implica describir completamente los productos técnicos para poder facilitar su construcción. Este proceso incluye consideraciones y diseños realizados con bocetos y cálculos, así como los primeros borradores, listas de piezas y dibujos con indicaciones relativas a los materiales, tratamiento, las dimensiones y las tolerancias. En la asignatura diseño mecánico usualmente se enseñan los fundamentos necesarios para la construcción.

En cuanto a la formación técnica, el diseño mecánico es un campo de aprendizaje complejo y de vital importancia, la exposición metódica de cuestiones básicas tales como la estática, la resistencia de materiales y la dinámica, los elementos de máquina, el ensayo de materiales, la geometría descriptiva y el dibujo técnico, también, permite preparar a los alumnos durante sus

años de estudio o su formación de manera óptima para su futura práctica profesional, la clave es un diseño mecánico claro y definido.

1.2 Doblado

El doblado es un proceso de conformado por el cual se sobrepasa el límite de deformación plástica que poseen los materiales, con el fin de darle al mismo una forma o perfil determinado. Se caracteriza porque durante la realización no se generan pérdidas de material conservando en su totalidad la integridad del mismo, en estas operaciones es común usar tubos circulares, aunque también, se puede realizar el proceso con diversos perfiles como los rectangulares, cuadrados, sólidos o extruidos y que de esta manera se adecuen a las especificaciones necesarias para el trabajo a realizar; en la Figura 5 se muestra un tubo circular sometido a doblado junto al molde usado para ello [10].

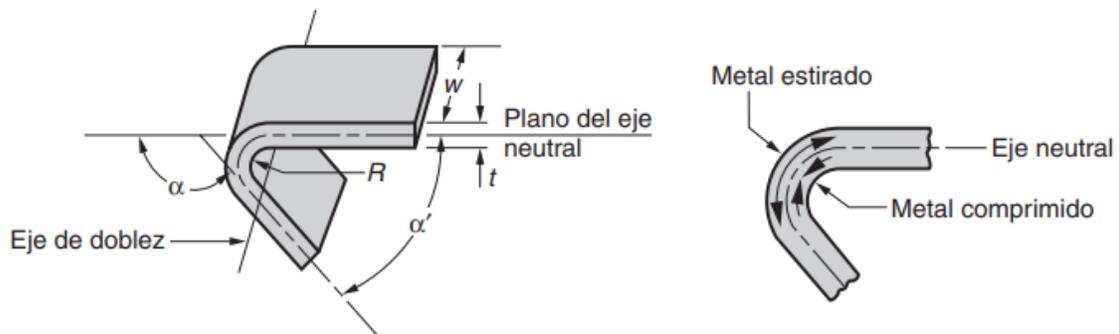
Figura 5: Productos manufacturados obtenidos por doblado



Fuente: Área académica de metalurgia [10]

Como se mencionó con anterioridad, es un proceso aplicado a distintos perfiles y también a varios materiales, con el fin de alcanzar un tipo de geometría específica sin necesidad de recurrir a procesos adicionales, como por ejemplo, el corte y posterior unión de piezas, en este caso al tratarse de perfiles metálicos, la curva se logra al aplicar al material que tiene una superficie recta un esfuerzo que supere el límite elástico, en una dirección diferente al eje neutral del elemento para generar así una deformación permanente en el material (Figura 6), es importante destacar que si el esfuerzo se aplica de manera correcta se tendrá como resultado un acabado pulcro y uniforme en el elemento conformado.

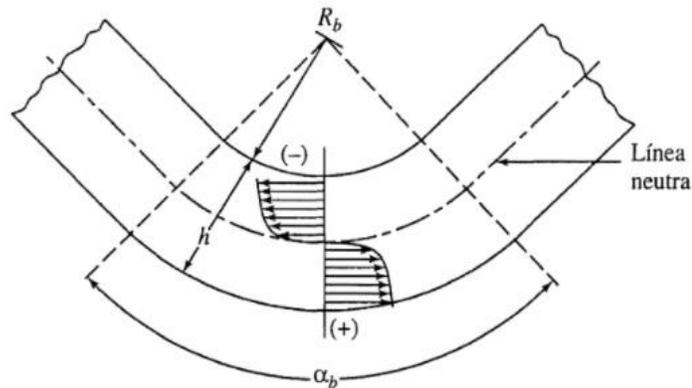
Figura 6: Naturaleza del doblado



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna [11]

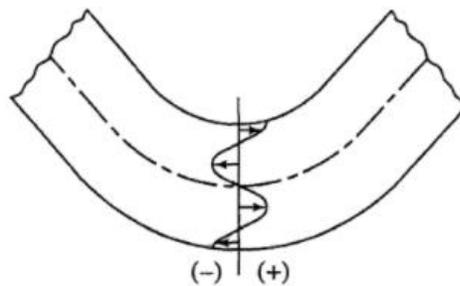
El proceso se caracteriza principalmente porque al llevar a cabo su ejecución se genera tensión en las fibras externas del material y la simultánea compresión de las fibras internas. En el transcurso del doblado se pueden observar dos comportamientos, en el primero toda la curva de esfuerzo-deformación unitaria va a ser recorrida en su totalidad por el material (Figura 7) y en el segundo, debido a los esfuerzos elásticos, se provoca la recuperación elástica del material logrando de esta forma la retención de un patrón de esfuerzos residuales (Figura 8) [12].

Figura 7: Curva de esfuerzo-deformación unitaria



Fuente: Procesos de manufactura [12]

Figura 8: Curva de recuperación elástica



Fuente: Procesos de manufactura [12]

Al aplicar un esfuerzo al material que supere el límite elástico hay tener en cuenta que, cuando el radio de curvatura es menor se va a presentar siempre una recuperación elástica inversamente proporcional a este radio, lo que dará como resultado un ángulo menor al que se esperaba alcanzar con el proceso, una posible solución para lo mencionado puede ser el uso de perfiles metálicos más gruesos, ángulos de doblez más grandes o materiales más endurecidos.

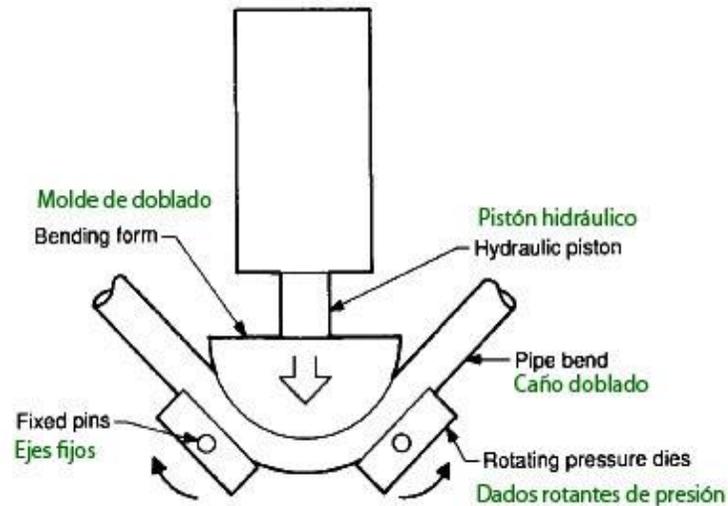
Cuando se está deformando el metal en frío la fuerza a aplicar se debe incrementar, en razón a que la dureza que posee el material va en aumento, por lo que, cuando se implementa un diseño para este tipo de procesos se debe tener una serie de cuidados especiales con las velocidades y fuerzas aplicadas, cuidando que no se supere el esfuerzo de ruptura del material y que se generen daños o una reducción de las propiedades.

1.2.1 Tipos de doblado

- **Manual con pistón o prensado:** es el tipo de doblado más antiguo, se realiza en su totalidad por un operario quien, de forma manual, acomoda los moldes y con ayuda de palancas hace descender el pistón o prensa para ejercer la fuerza necesaria y doblar el material (Figura 9), al depender enteramente de la habilidad de una persona, esta técnica suele ser bastante imprecisa y las terminaciones son robustas, sin embargo, es un proceso rápido y económico de llevar a cabo.

Es usado para procesar tubos gruesos, perfiles laminados o extruidos, siempre y cuando, el material permita alteraciones en la sección de la pieza de trabajo y sea vital una producción rápida. En la actualidad existen máquinas en las que el doblado por prensado con cabeza se aplica a tuberías de 10 a 350 mm de diámetro, siendo funcional en dobleces de hasta 165° y perfiles de pared gruesa. [13]

Figura 9: Doblado con pistón



Fuente: SIDERPERU [14]

- **Doblado con rodillos:** este tipo de doblado es utilizado generalmente para llegar a radios grandes. El tubo es pasado por medio de tres rodillos conformados en una pirámide y estos son capaces de aplicar distintas cantidades de presión con el objetivo de formar el radio de línea central que se desee (Figura 10). Aunque es necesario que estos rodillos coincidan con el diámetro exterior de la pieza en la que se va a trabajar, no es menester conformarse con el radio deseado como un dado de doblez.

Esta técnica es ideal específicamente para esos dobleces, rollos y curvas de radio grande, teniendo en cuenta que es poco práctico y, de hecho, algo poco probable, crear o construir un dado de doblez grande para otros tipos de doblado.

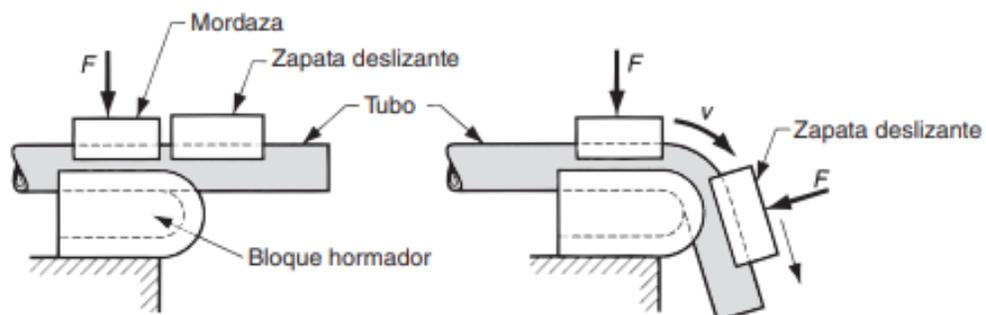
Figura 10: Dobladora con rodillos



Fuente: MG SRL [15]

- Doblado con compresión:** el procedimiento se realiza mediante la utilización de un rodillo que dobla la pieza en la periferia de la matriz de doblado estacionaria, lo cual funciona con apoyo de un bloque o rodillo seguidor (Figura 11). Se presenta una mayor fuerza de compresión que de elongación sobre la pieza de trabajo (incluso cuando exista elongación sobre la parte externa del doblado), motivo por el cual el nombre del método se origina de ello. El molde utilizado va a tener una garganta que será igual al diámetro exterior del que se necesita el tubo. De manera opcional y para evitar que las secciones se deformen, se usa un mandril en la parte interior del tubo. [16]

Figura 11: Doblado por compresión

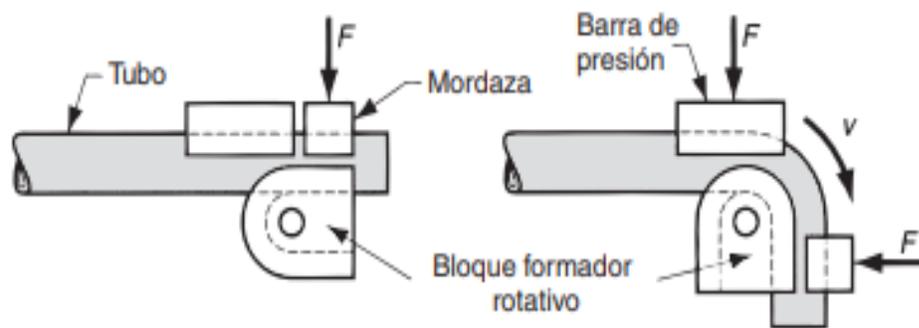


Fuente: Fundamentos de manufactura moderna [11]

- **Doblado giratorio por arrastre:** con respecto a lo relacionado con los trabajos de precisión relacionados o similares al doblado por compresión, el lado gira halando la pieza de trabajo por una matriz de presión (Figura 12); el curvado rotatorio predomina de gran manera en el mercado de doblado de tubos, específicamente en lo que tiene que ver con los radios pequeños.

Sin lugar a dudas, es un proceso que brinda mayor control sobre el grosor de las paredes y la curvatura, toda vez que, se suele utilizar un mandril en el interior y para el exterior, herramientas de precisión.

Figura 12: Doblado por arrastre



Fuente: Fundamentos de manufactura moderna [11]

1.2.2 Límites del doblado

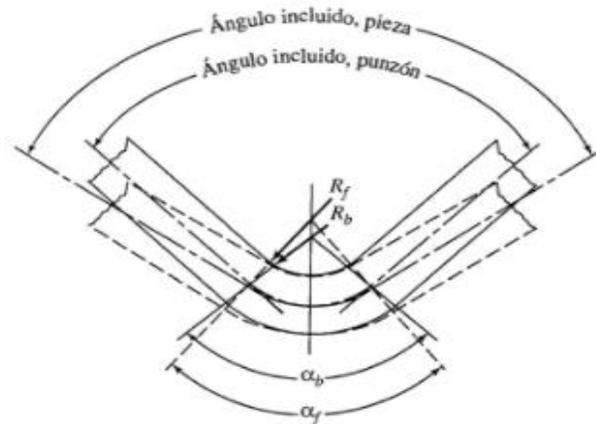
Los principales límites que posee este tipo de conformado de lámina se dan por las restricciones que causan el radio mínimo de doblado o generalmente la razón mínima de espesor y esto se debe definir con base en los siguientes criterios:

- **La estricción localizada:** es el motivo por el cual se pueden generar debilitamientos en la estructura y ocurre cuando al tensionar la fibra externa se supera la deformación uniforme del material.
- **La cáscara naranja:** es una capa que, generalmente, afecta la estética del terminado pero que se puede solucionar al elegir un material tenga un grano más fino.
- **La fractura:** se ocasiona cuando el material alcanza el límite absoluto y se relaciona directamente con una reducción en el área de tensión y a su vez por la ductilidad del material.
- **La exfoliación y agrietamiento:** al doblar el material utilizando radios muy agudos se pueden causar este tipo de inconvenientes en la superficie interior, por lo que se ve afectado el doblado.

1.2.3 Esfuerzos

- **Esfuerzos normales:** la curva de esfuerzo-deformación unitaria en el proceso de doblado se extiende a lo largo del plano neutro tanto a tensión como a compresión, creando un estado de los esfuerzos extremadamente complejo, esto también nos indica que en el mismo plano los esfuerzos deben ser elásticos. Una vez se retira la herramienta encargada de realizar el formado, el momento que fue desarrollado por los componentes elásticos, empieza un proceso de recuperación elástica en el que el elemento toma la forma final dada por los esfuerzos residuales de la forma en que se muestra en la Figura 13 [12].

Figura 13: Dimensiones que caracterizan la recuperación elástica



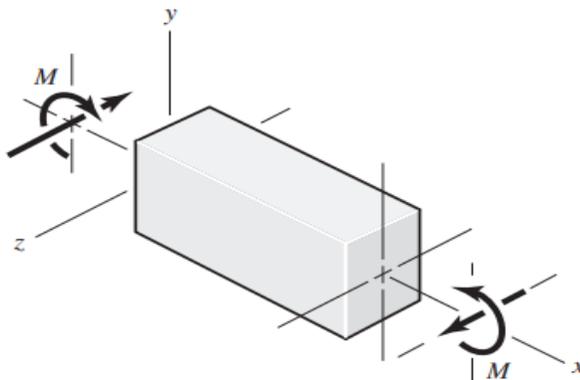
Fuente: Procesos de manufactura [12]

Los esfuerzos de flexión varían de forma lineal con respecto a la distancia que tienen con el eje neutro y va a ser representado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

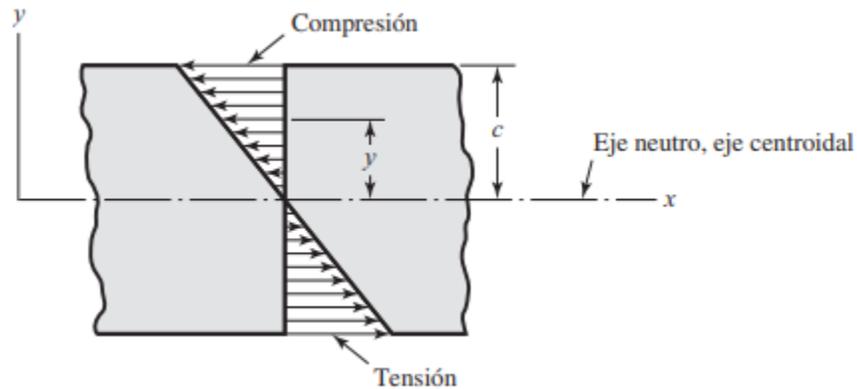
En donde I representa el segundo momento de área alrededor del eje z en la Figura 14 que muestra una viga sometida a flexión. Dicha ecuación sirve para mostrar la distribución del esfuerzo en la viga tal y como se ilustra en la Figura 15.

Figura 14: Momento flector en una viga sometida a flexión



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica [17]

Figura 15: Distribución de esfuerzo en una viga sometida a flexión

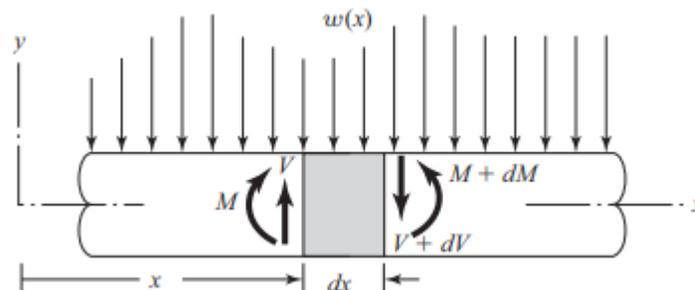


Fuente: Diseño en ingeniería mecánica [17]

- **Esfuerzos cortantes:** son el resultado directo de las tensiones cortantes, generalmente, las vigas son capaces de soportar momentos flectores y cargas cortantes, por lo que existe un rango mínimo de veces en las que se encuentra sujeta únicamente a flexión pura.

En la Figura 16 se ilustra una viga que está siendo sometida a una fuerza cortante llamada v y un momento a flexión M , encontrados a una distancia denominada x . Se observa cómo al aplicarse una fuerza, el sentido de v y M cambia de manera notable.

Figura 16: Viga de sección transversal sometida a fuerza de corte v



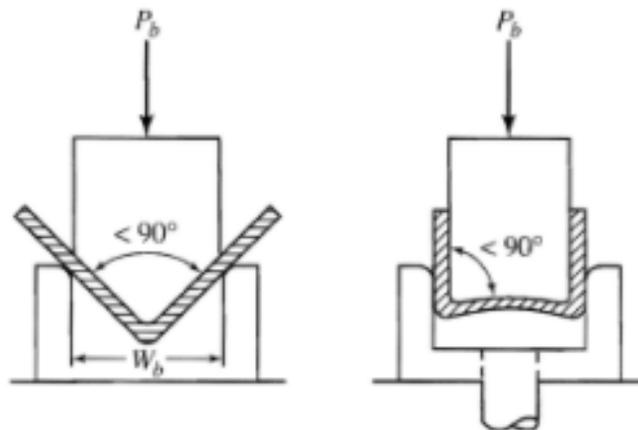
Fuente: Diseño en ingeniería mecánica [17]

1.2.4 Recuperación elástica

Una vez se inicia la recuperación elástica se crea una nueva nivelación de fuerzas en la que hay, a su vez, una redistribución de esfuerzos residuales, caracterizada por el esfuerzo de compresión que existe en la superficie y el de tensión en el interior. Por la importancia que tiene este tópico se han desarrollado diversas técnicas que permiten contrarrestar su efecto, entre las que se encuentran las siguientes:

- Realizar un sobre doblado, este es un proceso mediante el cual se realiza el doblado sin ejercer ninguna presión de compresión, sin embargo, se limita a casos en los que se conocen las características del material y el tipo de recuperación elástica. (Figura 17)

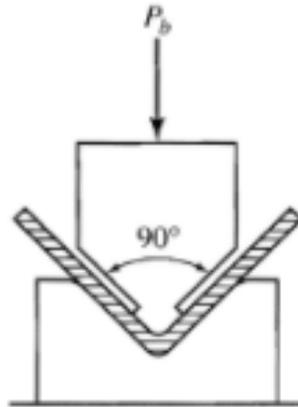
Figura 17: Proceso de sobre doblado



Fuente: Procesos de manufactura [12]

- Para llevar a cabo el proceso de eliminación de la zona elástica existen 2 formas, en la primera se requiere sujetar los 2 extremos antes de que el punzón llegue al fondo para que, al final, se genere un estirado en la lámina y haciendo que proceda uniformemente en el espesor. En la segunda forma, se configura la nariz del punzón para poder lograr penetrar la lámina y que, se realice la compresión en todo el espesor de la misma (Figura 18).

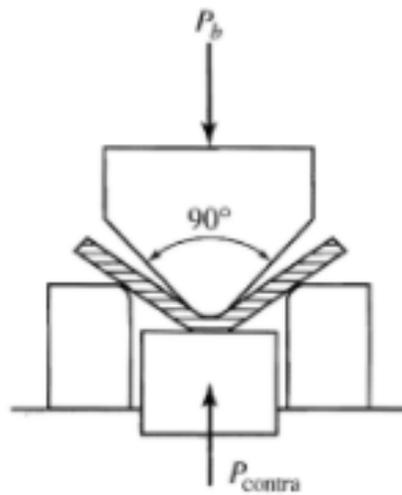
Figura 18: Deformación plástica al final de carrera



Fuente: Procesos de manufactura [12]

- Por medio de un contrapunzón se realiza una presión controlada, de esta forma se conserva el esfuerzo a compresión en el doblado a lo largo del proceso (Figura 19).

Figura 19: Doblez sometido a compresión durante el proceso



Fuente: Procesos de manufactura [12]

1.3 Tipos de máquinas usadas en el mercado

1.3.1 Dobladora manual marca Raleigh

Posee un mecanismo de dado, cuenta con una palanca en el lateral del equipo que le permite al operario realizar el doblado con poca fuerza, de manera rápida y sencilla, adicionalmente, es capaz de entregar 10 grados de curvatura cada vez que se acciona la palanca (Figura 20) [18]. Su capacidad para tubos es de:

- 1 pulgada – Schedule 40.
- Tubos rectangulares de 1 pulgada.
- Tubos de 1 – $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Figura 20: Dobladora manual Raleigh



Fuente: Universidad Nacional del Santa [18]

1.3.2 Dobladora manual JD2 modelo 3

Tiene la característica principal de poseer un accionamiento tanto mecánico como hidráulico, dobla a presión tubos cuadrados o redondos y cuenta con una capacidad de tubos hasta de 2 pulgadas a 180° (Figura 21) [18].

Figura 21: Dobladora manual JD2 modelo 3



Fuente: Universidad Nacional del Santa [18]

1.3.3 Dobladora JMR hidráulica

Está diseñada especialmente para trabajos en el área industrial, por lo que es económica y fácil de manejar, cuenta con dados que permiten dobleces de 120° y 240°, a la vez posee bujes de aluminio y bronce en los puntos en los que se realiza el giro (Figura 22). Sus capacidades son:

- Tubo redondo de 2 hasta ½ pulgada.
- Tubo cuadrado de hasta 2 pulgadas.
- Tubería de hasta 2 pulgadas – Schedule 40.

Figura 22: Dobladora JMR hidráulica

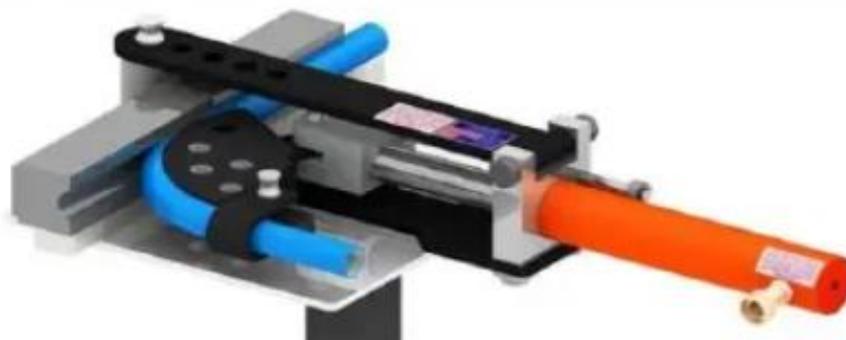


Fuente: Universidad Nacional del Santa [18]

1.3.4 Dobladora hidráulica Pro-Tools HB 302

Está diseñada principalmente para facilitar al operador el cambio de los dados, según información dada por su fabricante, tiene una durabilidad de por vida. Cuenta con una capacidad máxima de tubos de $\frac{3}{4}$ de pulgada y también posee autobloqueo, esto con el fin de dar al operario la posibilidad de realizar dobleces repetitivos (Figura 23).

Figura 23: Dobladora hidráulica Pro-Tools HB 302



Fuente: Universidad Nacional del Santa [18]

1.3.5 Dobladora hidráulica Huth Heavy Duty Tube & Pipe Bender

Es utilizada en trabajos usualmente pesados por lo que, para facilitar su operación cuenta con tubos hidráulicos industriales (Figura 24). Puede doblar tubos de 3 pulgadas y su capacidad máxima es de tubos redondos de hasta 2 pulgadas – Schedule 80 y en tubos cuadrados de 2 ½ pulgadas. Para seguridad del operario cuenta con auto parada la cual se acciona con un pedal.

Figura 24: Dobladora hidráulica Huth Heavy Duty Tube & Pipe Bender



Fuente: Universidad Nacional del Santa [18]

1.3.6 Dobladora a rodillos Ercolina CE40MR3

Cuenta con 3 rodillos que le dan capacidad de doblar tubos redondos de 70x1,5 mm, también tuberías de gas de hasta 2” (Figura 25). Según su fabricante su velocidad de flexión supera en un 20% a los equipos de la misma categoría, asimismo, el sistema de carrera y descenso simultáneo que posee ayuda a minimizar la deformación del perfil.

Su sistema de accionamiento es automático y tiene también, por medio de una pantalla táctil, un control programable que da la lectura de la posición del rodillo [19].

Figura 25: Dobladora a rodillos Ercolina CE40MR3



Fuente: Exapro s.a.r.l [19]

1.3.7 Dobladora con accionamiento CNC (Control numérico computarizado)

Es la más actual entre las máquinas de doblado y, por ende, la que contiene mayor cantidad de tecnología, por ejemplo, contiene un software que permite al operador controlar variables como la dirección y ángulo de rotación, además de estimar el tiempo de duración del curvado (Figura 26).

Teniendo en consideración las preferencias de los usuarios junto a la programación realizada por el operador, se puede proceder a realizar el doblado y tener como resultado un producto de mejor calidad [20].

Figura 26: Dobladora con accionamiento CNC (Control numérico computarizado)



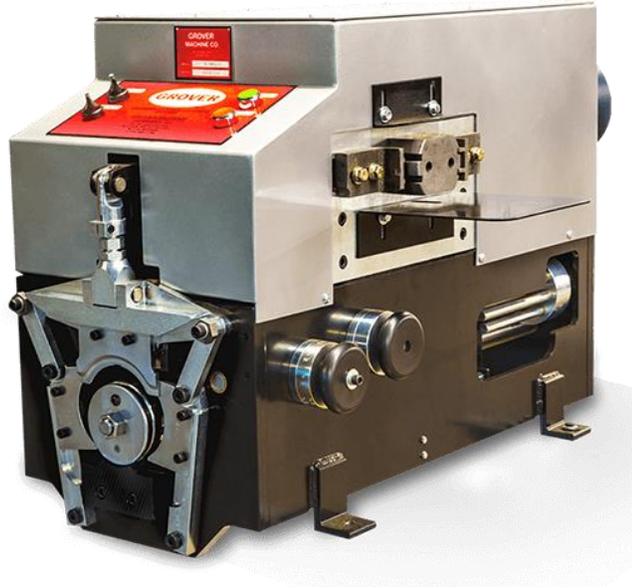
Fuente: Universidad Nacional del Altiplano – Perú [20]

1.3.8 Dobladora manual o eléctrica para fabricar codos

Se usa para doblar codos a partir de tubos circulares (Figura 27), rectangulares (Figura 28) o láminas de distintos metales. Los usos principales de estas tuberías pueden ser en ductos de drenaje, ventilación y chimeneas. Es ideal para producciones masivas, debido a que el proceso tarda 1 minuto o menos, dependiendo de la marca y las dimensiones.

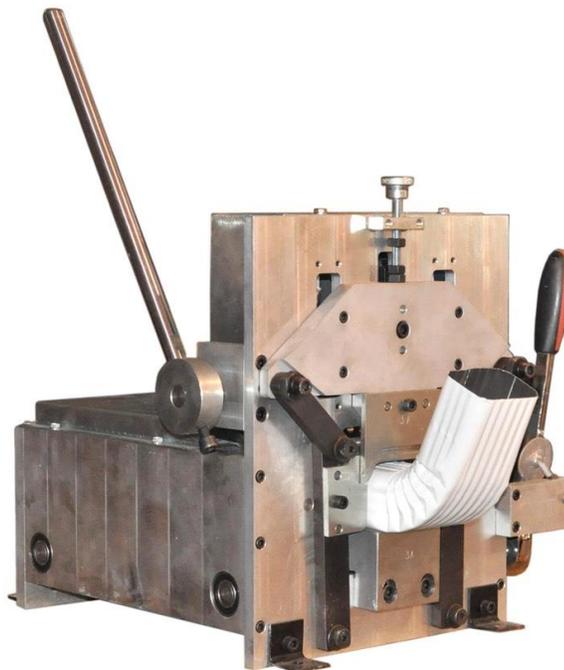
Este tipo de máquinas se caracterizan por la forma en la que realizan el doblado, cuentan con mordazas o moldes en la parte delantera, de tal forma que a medida que se genere el avance del tubo se van a generar una especie de ondulaciones o crimpados para que el resultado sea un tubo corrugado. El método de doblado es realizado por medio de un mecanismo que se encarga de ejercer presión de manera uniforme alrededor del tubo (Figura 29) garantizando el doblado con la forma correcta.

Figura 27: Groover Elbow Machine Model 300



Fuente: Groover Machine Company [21]

Figura 28: MEL – Manual Elbow Machine



Fuente: Liberty Seamless Enterprises [22]

Figura 29: Tubo circular al cual se le está ejerciendo presión uniforme por medio de mordazas



Fuente: CKEMSA Machines [23]

Para realizar el doblado, el modelo suministrado por ISEK S.A.S cuenta con un mecanismo de biela – manivela el cual está conectado al eje principal (Figura 30), por medio de este se activan una serie de eslabones ubicados en la parte delantera del equipo que, por su disposición ejercerán presión de manera uniforme en el tubo logrando así la curva.

Figura 30: Mecanismo biela-manivela accionador del mecanismo delantero



Fuente: Hurciuc Ilie – Youtube [2]

Para su accionamiento cuenta con 2 métodos, el primero, tal y como se puede observar en la Figura 28, puede ser a través de una palanca que es movida por un operario para hacer el avance, en el segundo caso, puede ser por un motor eléctrico (Figura 27), este será el encargado de activar el mecanismo delantero y hacer el avance de forma simultánea.

1.4 Normatividad

A la hora de diseñar es necesario tener en cuenta las distintas normas que envuelven la actividad planteada para la máquina diseñada, debido a que, a partir de estas normas se establecen parámetros que permiten procesar de una mejor manera el producto para que, de esta forma, se pueda garantizar que el procesamiento de los tubos es el correcto, que llegará a los consumidores con calidad y que esté en el marco legal de la comercialización.

En cuanto a producción, comercialización y distribución de tubos doblados y aptos para el consumo industrial en Colombia, normatividad establecida por comités internacionales, como por ejemplo la ASTM/ASME, AISI o ISO, adicional a esto, multinacionales como Ecopetrol, por su incursión en la industria, desarrolla guías que son útiles y sirven como orientación para comercios más pequeños. Algunas de las normas que acoge este proyecto son:

- ISO 8491. Materiales metálicos, tubos de sección circular completa, ensayos de curvado. Esta norma internacional especifica un método para determinar la aptitud a la deformación plástica por curvado de un tubo metálico de sección circular completa. Es aplicable a los tubos de diámetro exterior no superior a 65 mm, si bien la gama de diámetros exteriores a la que se aplica esta norma puede estar definida de forma más explícita en la norma correspondiente del producto [24].

- ASME B31.4 Tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos [25].
- NTC 1560, Tubos de acero laminados en caliente, soldados por resistencia eléctrica para uso general [26].
- NTC 3353, Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero (ASTM A370) [27].
- NTC 3470, Tubos de acero soldados y sin costura, negros y recubiertos de zinc por inmersión en caliente (ASTM A53/A53M) [28].
- NTC 4526, Tubería estructural de aceros al carbono formada en frío, con y sin costura, redonda y de otras formas [28].
- ASTM A500/A500M, Especificación Normalizada para Tubos Estructurales de Acero al Carbono Conformados en Frío, Electrosoldados y sin Costura, de forma Circular y no Circular [28].

2. Diseño

Partiendo del modelo descrito en el prefacio y en el numeral 1.3.8 de marco teórico, se inicia el proceso de diseño en el que se van a calcular los elementos necesarios para su funcionamiento como lo son, el motor y el sistema de transmisión de potencia; de estos se desprenden algunos cálculos suplementarios como la fuerza necesaria para realizar el doblado, la velocidad en la que se debe hacer el proceso para cumplir con la producción estimada por la empresa entre otros.

2.1 Cálculo de la fuerza necesaria para doblar el tubo

Teniendo en cuenta la definición de qué esfuerzo normal máximo es igual a:

$$\sigma_{max} = \frac{\text{Momento interno resultante}}{\text{Módulo de la sección}} = \frac{|M|}{S} \quad \text{Ecuación 1}$$

Según la norma ASTM A53 a la que pertenece el acero galvanizado, el esfuerzo máximo del material es de $35 \text{ ksi} \approx 241 \text{ MPa}$ [29]. Adicionalmente, de acuerdo a la norma COVENIN 843-84 [30], las dimensiones de los tubos son los mostrados en la Tabla 1 a continuación :

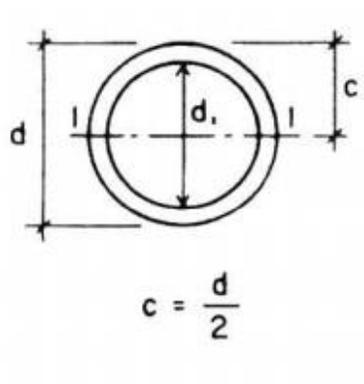
Tabla 1: Dimensiones de un tubo de galvanizado según Norma COVENIN 843-84

Diámetro nominal [in]	Diámetro exterior (D) [mm]	Diámetro interior (d) [mm]	Espesor de pared [mm]
2	60,2	57,8	2,40

Fuente: Materiales Los Andes [30]

Para un perfil circular hueco la fórmula para hallar el módulo de la sección se muestra en la Figura 31:

Figura 31: Formulas de módulo de sección para tubos



$$A = \frac{\pi (d^2 - d_i^2)}{4}$$

$$I_x = \frac{\pi (d^4 - d_i^4)}{64}$$

$$S_x = \frac{\pi (d^4 - d_i^4)}{32 d}$$

$$r_x = \frac{\sqrt{d^2 - d_i^2}}{4}$$

$$c = \frac{d}{2}$$

Fuente: Diseño simplificado de estructuras de madera [31]

Entonces con la Ecuación 2 se halla el módulo de la sección:

$$S = \frac{\pi * (D^4 - d^4)}{32 * D} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$S = \frac{\pi * (0,0602m^4 - 0,0578m^4)}{32 * 0,0602m}$$

$$S = 3,217 * 10^{-6} m$$

Debido a que el esfuerzo máximo del material es 241 MPa, este valor se multiplicará por un factor de diseño de 1,5 con el fin de garantizar el doblez incluso si se presentan cambios de resistencia inesperados.

$$\sigma_{max} = 241 MPa * 1,5 = 361,5 MPa$$

Al retomar la Ecuación 1 se puede despejar el momento interno resultante y hallarlo así:

$$\sigma_{max} = \frac{|M|}{S}$$

$$|M| = \sigma_{max} * S$$

$$|M| = (361,5 * 10^6 Pa) * (3,217 * 10^{-6} m)$$

$$|M| = 1162,95 N * m$$

2.2 Cálculo de la velocidad a la que se debe hacer cada proceso

Conociendo que la empresa tiene como objetivo poder doblar 480 tubos al día en una jornada laboral de 8 horas ininterrumpidas, a continuación, se realiza el cálculo de la velocidad a la que el equipo debe trabajar para cumplir dicha meta si el operador tiene una eficiencia del 80%.

$$V_p = \frac{\textit{T tiempo disponible}}{\textit{número de procesos}} = \frac{(8h * 60 \textit{ min}) * 0,8}{480}$$

$$V_p = 0,8 \frac{\textit{min}}{\textit{proceso}}$$

Por lo que la velocidad angular de la máquina sería:

$$\omega = \frac{1 \textit{ rev}}{0,8 \textit{ min}} * \frac{2\pi}{1 \textit{ rev}} * \frac{1 \textit{ min}}{60 \textit{ s}}$$

$$\omega = \frac{\pi}{24} \left[\frac{\textit{rad}}{\textit{s}} \right]$$

2.3 Cálculo de la potencia mínima requerida por la máquina y selección del motor

Por medio de la Ecuación 3 se realiza el producto del momento interno resultante y la velocidad angular y de esta forma calcular la potencia mínima que va a necesitar que transmita el motor para accionar el equipo.

$$P = |M| * \omega \text{ [Watt]} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$P = 1162,95 \text{ Nm} * \frac{\pi}{24} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$P = 152,23 \text{ Watt} * \frac{1 \text{ Hp}}{745,7 \text{ Watt}}$$

$$\mathbf{P = 0,204 Hp}$$

Debido a que en el mercado no es convencional el uso de motores que suministran una potencia con este valor, se va a trabajar con una potencia requerida de 1 Hp que, como único efecto en el modelo final, aceleraría el doblez.

Tradicionalmente, este tipo de máquinas son accionadas por medio de una manivela, sin embargo, en este caso, con el fin de obtener un mecanismo más ágil e implementar una nueva tecnología se decidió usar un motorreductor eléctrico trifásico de la marca DALSAR, el cual era usado en una mina de carbón para activar una banda transportadora y que fue puesto a disposición del proyecto por la empresa ISEK.

Como características principales, cuenta con una potencia de 2,4 Hp por lo que cubre la mínima potencia necesaria para el mecanismo, una velocidad angular de hasta 1800 rpm y maneja una relación de velocidad de 40:1 por lo que entrega 45 rpm en la salida del mismo, tal y como se observa en la Figura 32.

Figura 32: Motorreductor de 2.4 Hp suministrado por ISEK



Fuente: Autores

2.4 Cálculo del sistema de transmisión Cadena – Catarina

Lo primero es escoger el factor de servicio el que, según el libro de Diseño de elementos mecánicos de Robert Mott [6], con base en el uso que tendrá la máquina, dicho factor corresponde a 1,3 tal y como se muestra en la Figura 33.

Otros datos relevantes para el cálculo se relacionan a continuación:

Potencia del motor: 2,4 Hp con relación 40:1

Velocidad de entrada: 45 rpm

Potencia requerida: 1 Hp

Velocidad requerida: 23 rpm

Relación de transmisión: $\frac{45}{23} = 1,96 \approx 2$

Figura 33: Factor de servicio para transmisión por cadena

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Fuente: Diseño de elementos mecánicos [6]

Resulta necesario calcular la potencia del diseño, para lo cual se debe tener en cuenta el factor de servicio, dicho cálculo se realizará a continuación:

$$potencia\ requerida * factor\ de\ servicio = potencia\ de\ diseño$$

$$1\ Hp * 1,3 = 1.3\ Hp$$

Según la Figura 34 y por interpolación, la catarina que mejor se acopla a lo solicitado es una cadena simple número 80 con 1" de paso (p) y 11 dientes (N_1), que, por interpolación tiene una capacidad de 1,86 rpm.

Figura 34: Capacidades en caballos de fuerza – Cadena simple de rodillos número 80

Núm. de dientes	1.000 pulgadas de paso				Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/mín													
	10	25	50	75	88	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
11	0.44	1.06	2.07	3.05	3.56	4.03	7.83	11.56	15.23	18.87	22.48	26.07	27.41	22.97	19.61	14.92	11.84	9.69
12	0.48	1.16	2.26	3.33	3.88	4.39	8.54	12.61	16.82	20.59	24.53	28.44	31.23	26.17	22.35	17.00	13.49	11.04
13	0.52	1.26	2.45	3.61	4.21	4.76	9.26	13.66	18.00	22.31	26.57	30.81	35.02	29.51	25.20	19.17	15.21	12.45
14	0.56	1.35	2.63	3.89	4.53	5.12	9.97	14.71	19.39	24.02	28.62	33.18	37.72	32.98	28.16	21.42	17.00	13.91

Fuente: Diseño de elementos mecánicos [6]

Para la velocidad encontrada corresponde usar lubricación manual o por goteo.

Dientes de la rueda grande:

$$N_2 = N_1 * \text{relación de transmisión}$$

$$N_2 = 11 * 2$$

$$N_2 = 22$$

Velocidad de salida esperada:

$$n_2 = n_1 * \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

$$n_2 = 45 * \left(\frac{11}{22}\right)$$

$$n_2 = 22.5 \text{ rpm}$$

Cálculo de los diámetros de paso de las catarinas:

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N_1}\right)} = \frac{1''}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{11}\right)}$$

$$D_1 = 3,55 \text{ pulgadas} \approx 0,09017 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N_2}\right)} = \frac{1''}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{22}\right)}$$

$$D_2 = 7,03 \text{ pulgadas} \approx 0.1786 \text{ m}$$

Paso y longitud teórica de la cadena:

Para realizar este cálculo usamos la Ecuación 4 con base en lo recomendado por el libro Diseño de elementos mecánicos de Robert Mott [6] así:

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$L = 2 * (15) + \frac{22 + 11}{2} + \frac{(22 - 11)^2}{4\pi^2 * (15)}$$

$$L = 46,7 \approx 47 \text{ pasos}$$

Ahora la distancia teórica entre centros sería

$$C = \frac{1}{4} \left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right]$$

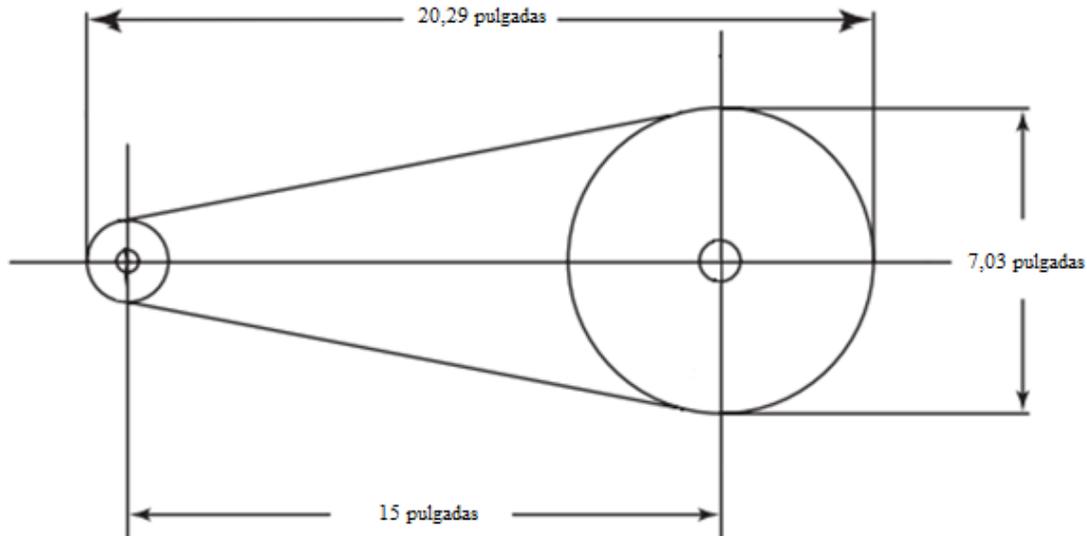
$$C = \frac{1}{4} \left[46,7 - \frac{22 + 11}{2} + \sqrt{\left[46,7 - \frac{22 + 11}{2} \right]^2 - \frac{8(22 - 11)^2}{4\pi^2}} \right]$$

$$C = 14,997 \approx 15 \text{ pasos} \approx 15 \text{ pulgadas}$$

De esta forma, el diagrama que representa el diseño final del mecanismo de transmisión se muestra en la Figura 35.

Con base en los cálculos realizados y las referencias existentes, se eligen catarinas de referencias 80BS11 y 80BS22 tomadas de El gran catálogo 4000 de la marca Martin [32], y las cuales se encuentran detalladas en el Anexo 1.

Figura 35: Detalle de las dimensiones del sistema de transmisión



Fuente: Tomado del libro Diseño de elementos mecánicos y adaptado al proyecto actual [6]

2.5 Diseño de la estructura y elección del material

Habiendo calculado el sistema de transmisión y teniendo en cuenta los elementos que va a tener el equipo, se realiza el diseño de la estructura en la que se van a soportar las piezas. Debido a que esta no va a ser sometida a temperaturas altas o estar expuesta al aire libre, no se hace necesario usar alguna aleación especial para su construcción, por lo cual el material escogido es el Acero SAE 1045. Tal y como se muestra en la Figura 36, este tipo de aceros cuentan con propiedades como una resistencia a la tracción mayor a los 600 MPa lo que lo hace idóneo teniendo en cuenta la labor que va a desempeñar en la empresa.

Adicionalmente, este material proporciona un nivel medio de resistencia mecánica a un precio bajo por lo cual, tanto la estructura como cada una de las piezas que va a contener el equipo, se fabricarán en este acero. En la Figura 37 se muestra el diseño final de la estructura, sus dimensiones estarán detalladas en los Anexos 2 y 3 del documento, como características

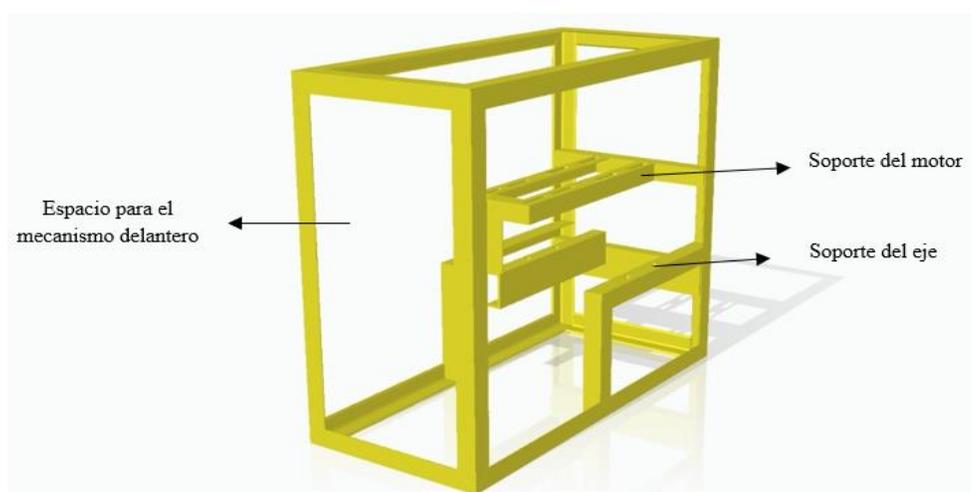
principales tiene un soporte para el motorreductor y las chumaceras en las que irá el eje principal, en la parte delantera irán los agujeros para ensamblar el mecanismo delantero encargado de realizar el dobléz.

Figura 36: Propiedades del Acero SAE 1045

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO			
Diámetro de la barra: 12 a 38 mm			
Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

Fuente: Compañía General de Aceros S.A [33]

Figura 37: Diseño final de la estructura del equipo



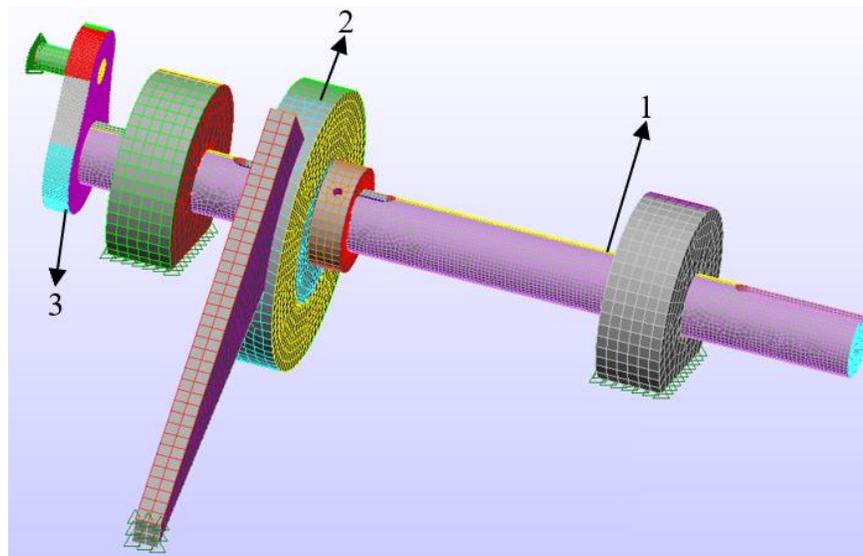
Fuente: Autores

2.6 Cálculo del eje principal

El eje principal está soportado por 2 chumaceras y es el encargado de generar el movimiento en la máquina, cuenta con 2 puntos principales para su funcionamiento los cuales se muestran en la en la Figura 38. El punto número 1 conecta por medio de una cuña la catarina para transmitir la potencia que suministra el motor, esto lo convierte en el punto más crítico del eje y, por ende, en donde se pueden encontrar las fallas.

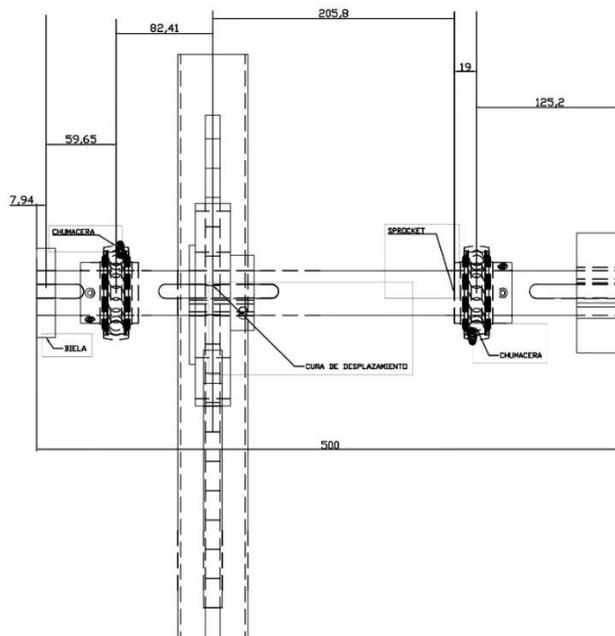
En el punto 2 se encuentra una cuña de desplazamiento que se va a hacer cargo de trasladar la cremallera hacia delante de forma horizontal y así dar avance al tubo. Por último, en el punto 3 se encuentra una biela que por medio de una manivela va a activar el mecanismo delantero el cual hace un movimiento de apertura y cierre para llevar a cabo el doblé. Las dimensiones del eje y detalles del mismo se encuentran en la Figura 39.

Figura 38: Elementos del eje principal



Fuente: Autores

Figura 39: Dimensiones del eje y sus elementos



Fuente: Autores

En vista de que la potencia máxima que va a entregarle el motor reductor al eje por medio de las catarinas es equivalente a la potencia de diseño de 1,3 Hp y con una velocidad de salida de 22,5 rpm, ambos calculados con anterioridad en el apartado del sistema de transmisión, se procede a realizar el cálculo del par de torsión con la relación que hay entre el torque, la potencia y la velocidad de giro y que se describe con la Ecuación 4:

$$\tau_{max} = \frac{P}{\omega} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\tau_{max} = \frac{1,3 \text{ Hp} * \frac{746 \text{ W}}{1 \text{ Hp}}}{22,5 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}}}$$

$$\tau_{max} = 411,6 \text{ N} * \text{m}$$

Fuerza que ejerce la catarina

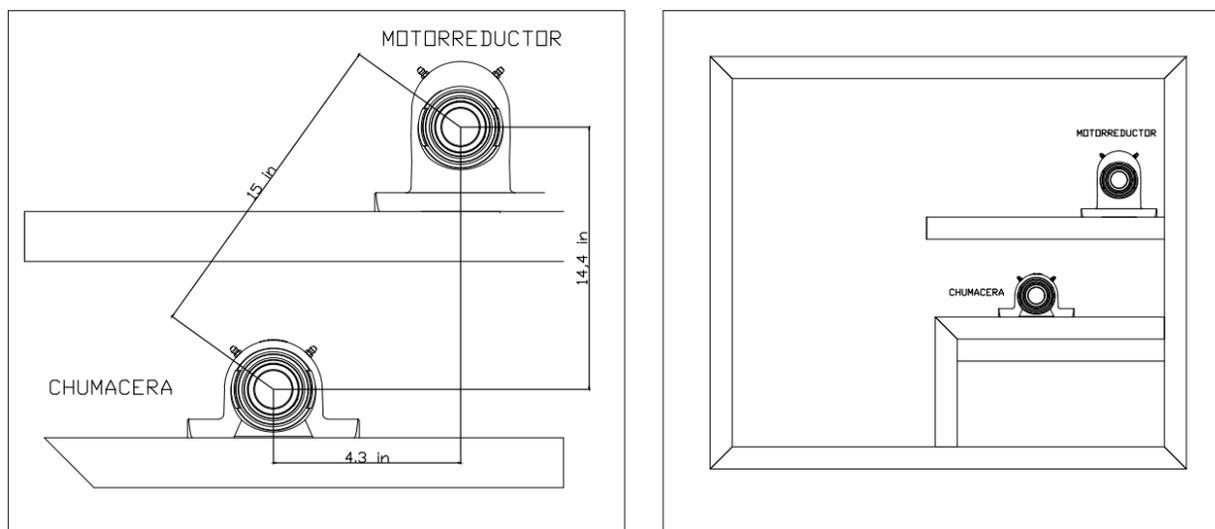
Una vez calculado el torque, se encuentra la fuerza que va a ejercer ese torque en el eje debido a la catarina con la Ecuación 5.

$$F_c = \frac{\tau_{max}}{\frac{D_2}{2}} = \frac{411,6 \text{ N} * m}{\frac{0.1786 \text{ m}}{2}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$F_c = 4609,14 \text{ N}$$

Debido a que el sistema de transmisión no quedó ubicado de manera horizontal como se muestra en la Figura 35, la fuerza que la catarina ejerce en el eje no solo es en dirección de Y sino a la vez en X, por lo anterior es necesario descomponer la fuerza F_c hallada con la Ecuación 5. Para esto se tiene en cuenta la posición del eje principal y el motor en la estructura, estas dimensiones se muestran en la Figura 40.

Figura 40: Distancia entre el eje principal y motorreductor



Fuente: Autores

Lo primero es encontrar el ángulo de inclinación de la fuerza, esto se realiza por medio del teorema de Pitágoras y se ve representado en la Figura 41.

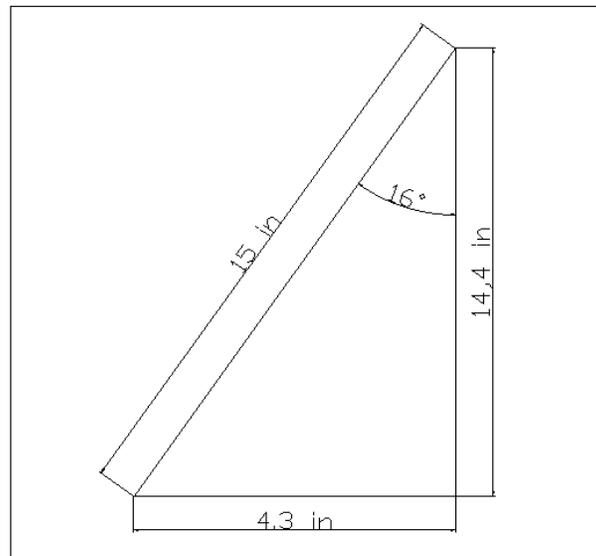
$$\cos \theta = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{14,4 \text{ in}}{15 \text{ in}}$$

$$\theta = 16,26^\circ$$

Figura 41: Ángulo de inclinación de la fuerza F_c



Fuente: Autores

Entonces los componentes de la fuerza F_c son, para X:

$$F_{cx} = F_c \sin \theta$$

$$F_{cx} = 4609,14 \sin 16,26$$

$$F_{cx} = 1290,5 \text{ N}$$

Para Y,

$$F_{cy} = F_c \cos \theta$$

$$F_{cy} = 4609,14 \cos(16,26)$$

$$F_{cy} = \mathbf{4424,78 \text{ N}}$$

Con el momento torsor máximo hallado con anterioridad, se calculan las fuerzas de los elementos restantes y se ubican en el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 42.

Fuerza que ejerce la cuña de desplazamiento:

$$M = F * D$$

$$\frac{M}{D} = F$$

$$\frac{411,6 \text{ N} * \text{m}}{70 \times 10^{-3} \text{ m}} = F$$

$$F_{P2} = \mathbf{5880 \text{ N}}$$

Fuerza que ejerce la biela

$$M = F * D$$

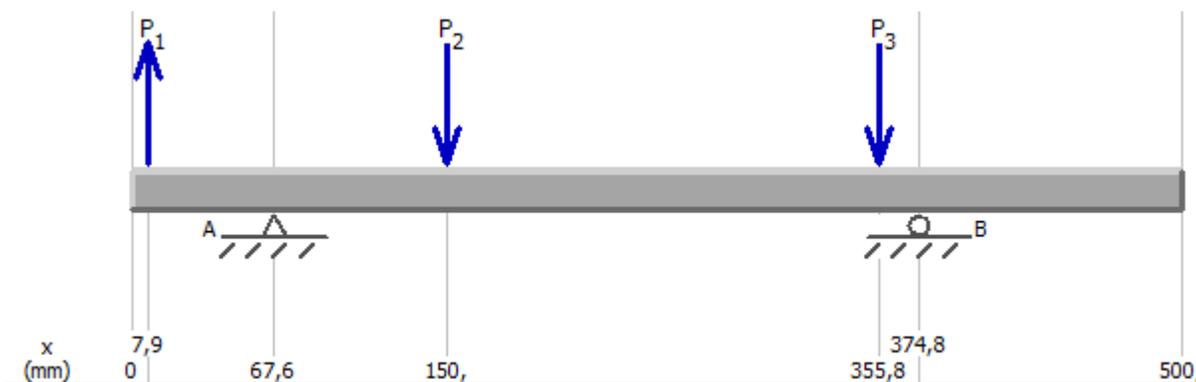
$$\frac{M}{D} = F$$

$$\frac{411,6 \text{ N} * \text{m}}{25,4 \times 10^{-3} \text{ m}} = F$$

$$F_{P1} = \mathbf{16204,7 \text{ N}}$$

De esta forma el diagrama de cuerpo libre para las fuerzas en Y quedaría de la siguiente forma (Figura 42):

Figura 42: Diagrama de fuerzas aplicadas en el eje Y

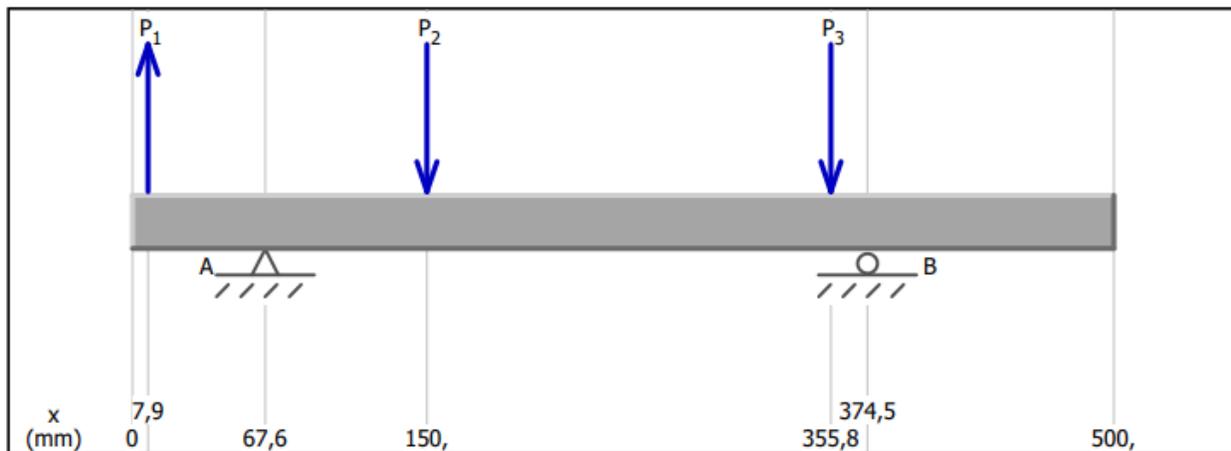


Fuente: Autores – Tomado del programa MDSolids

Con ayuda del software MDSolids se calculan las reacciones en los soportes (Figura 43) y el valor momento máximo que va a tener el eje para, posteriormente con este dato, hallar el diámetro mínimo que debe tener el elemento para no sufrir daños. En el diagrama de fuerza cortante (Figura 44) se puede observar la variación de esta magnitud y como alcanza un valor máximo de 16204,7 N entre los 7,9 mm y 67,6 mm desde el punto cero, allí se encuentra ubicada la biela y una chumacera.

Para el diagrama de momento flector (Figura 45), su valor máximo es de 1084,3 Nm y lo alcanza a los 150 mm desde el punto cero en el lugar donde se encuentra ubicada la cuña de desplazamiento.

Figura 43: Representación de fuerzas y reacciones en el eje



Load Diagram

$$P_1 = 16204,7 \text{ N}$$

$$P_2 = 5880,0 \text{ N}$$

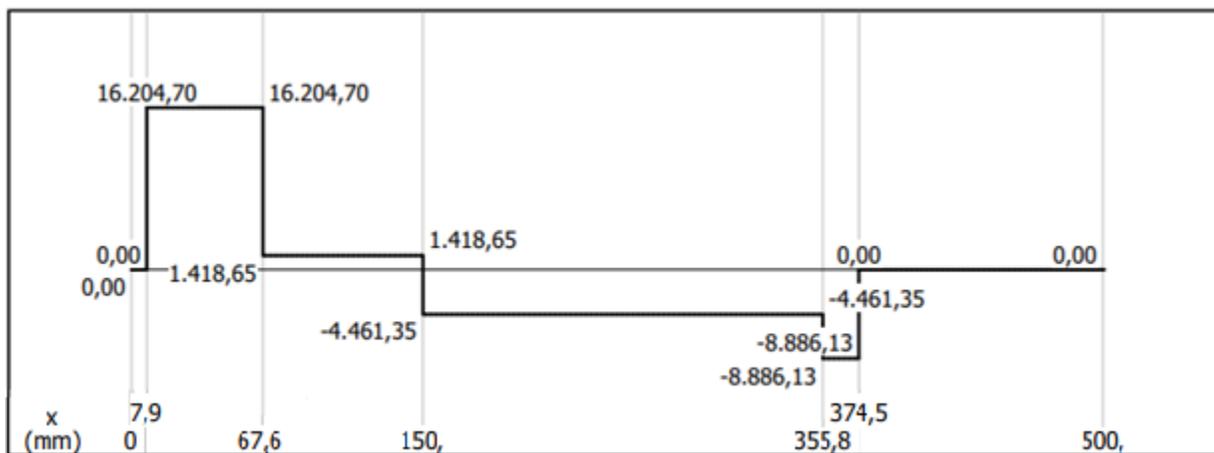
$$P_3 = 4424,78 \text{ N}$$

$$A_y = 14.786,05 \text{ N}$$

$$B_y = 8.886,13 \text{ N}$$

Fuente: Autores – Tomado del programa MDSolids

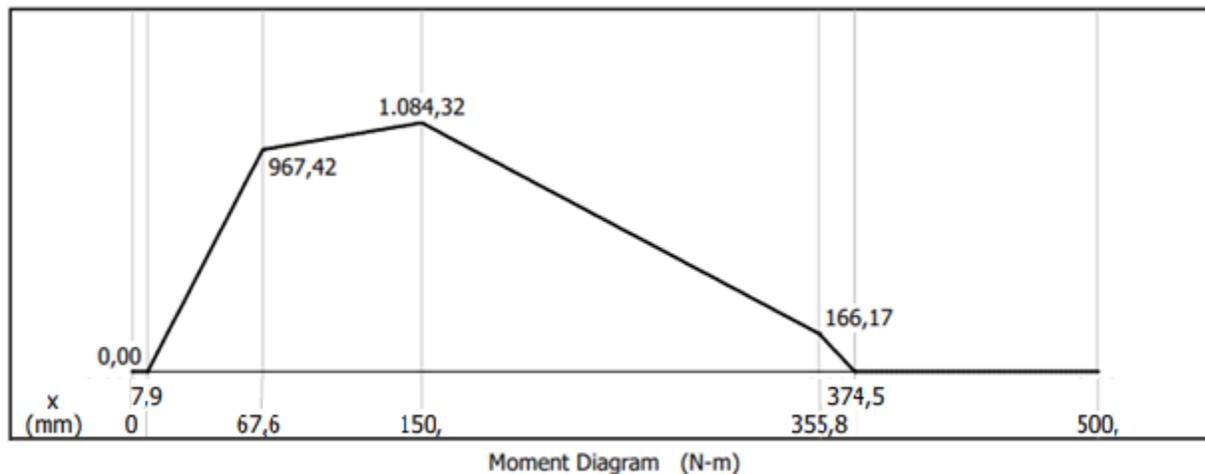
Figura 44: Diagrama de fuerza cortante



Shear Diagram (N)

Fuente: Autores – Tomado del programa MDSolids

Figura 45: Diagrama de momento flector



Fuente: Autores – Tomado del programa MDSolids

Para calcular el diámetro del eje tenemos en cuenta la Ecuación 6, tomamos el valor del momento flector máximo encontrado en la Figura 45.

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{32 N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Siguiendo las recomendaciones del libro de Diseño de elementos mecánicos de Robert Mott [6], un cuñero de perfil equivale un $K_t = 2$, un factor de diseño $N = 1,5$ para diseños típicos de ejes. $S'n$ y S_y se calculan de acuerdo a las especificaciones del material, por lo que al reemplazar los valores la Ecuación 6 queda de la siguiente manera:

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{32 (1,5)}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{(2,0) * 1084,32 N}{655 * 10^6 Pa}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{411,6 N * m}{413 * 10^6 Pa}\right)^2}}$$

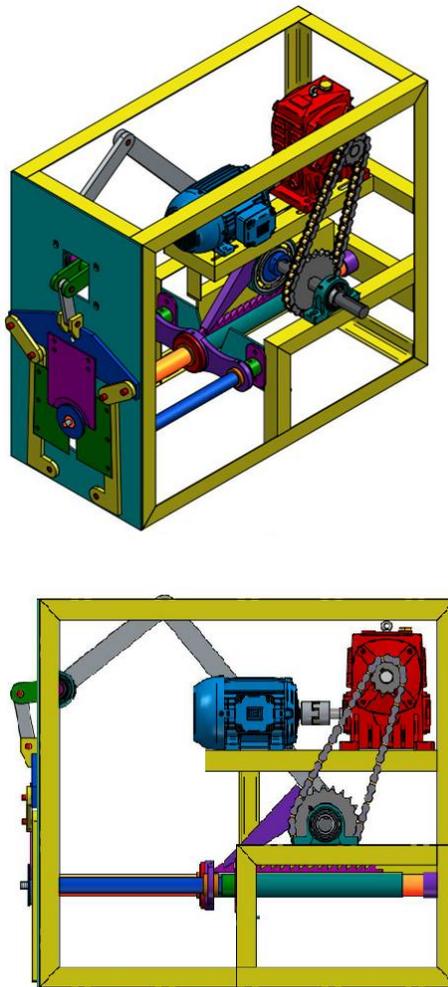
$$D_{eje} = 0,03739 m$$

Este valor se aproxima al más cercano por encima por lo que el diámetro del eje será de:

$$D_{eje} = 38 \text{ mm} \approx 1\frac{1}{2} \text{ in}$$

Con esto el diseño final de la máquina queda como se ve en la Figura 46 y sus dimensiones a detalle, así como la lista de piezas se encuentran en los Anexos 4 y 5.

Figura 46: Diseño final de la máquina dobladora de tubos



Fuente: Autores

2.7 Simulación

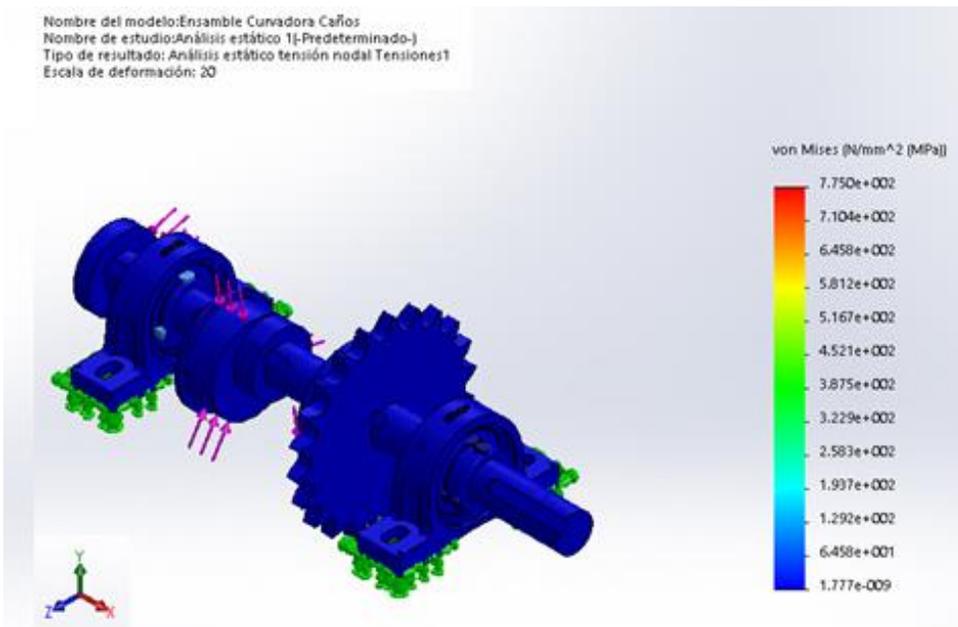
Por medio de la herramienta CAD SolidWorks, se simuló el modelo para asegurar su funcionamiento y comprobar principalmente que, los cálculos realizados en el eje principal y las fuerzas a las que va a estar sometido, no harán que el mismo se rompa o sufra desplazamientos por sobrecarga.

Se realiza es un análisis estático en el que, se pretende estudiar distintos agentes que pueden llegar a afectar al eje. Para esto en el programa se indican y aplican al modelo las mismas fuerzas señaladas en la Figura 43 y calculadas en el apartado 2,6, además, se especifica el material escogido. Los resultados obtenidos se explican a continuación.

En la Figura 47 se muestra el análisis de tensiones por medio del criterio de von Mises, en este se ve que a lo largo del eje y de sus componentes nunca se supera el límite elástico del material elegido (acero SAE 1045) por lo que, a pesar de tener puntos en los que se pueden generar concentradores de esfuerzos, no se verá afectado el diseño.

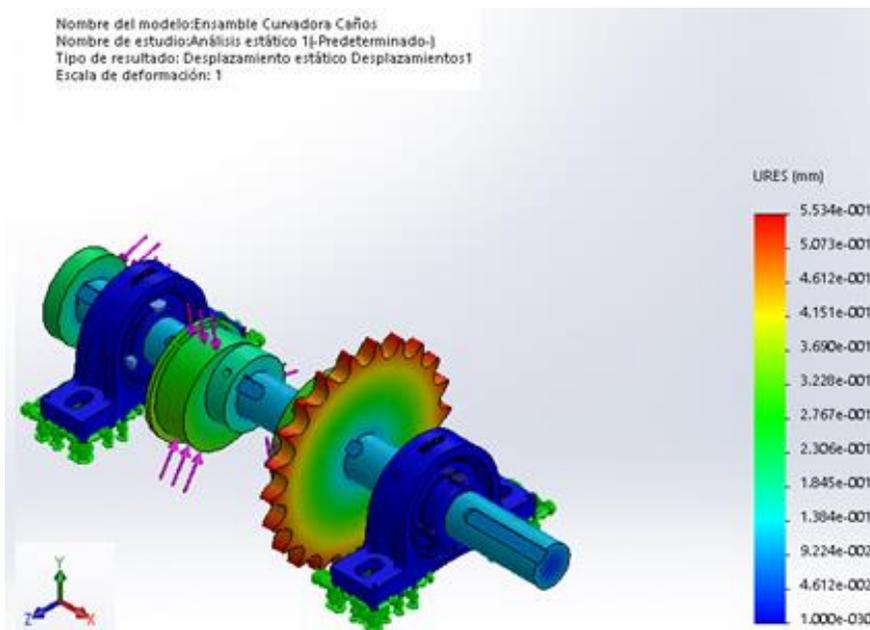
En la Figura 48 está representado el desplazamiento que puede llegar a tener el eje o sus componentes al poner en funcionamiento el equipo. Con la escala de colores se ve de forma más clara que, la catarina es el elemento que tiene más a sufrir un desplazamiento, sin embargo, el valor es de $5,534e-001$ mm por lo que aún si se diera ese desplazamiento, sería tan pequeño que se puede despreciar.

Figura 47: Análisis de tensiones de von Mises



Fuente: Autores

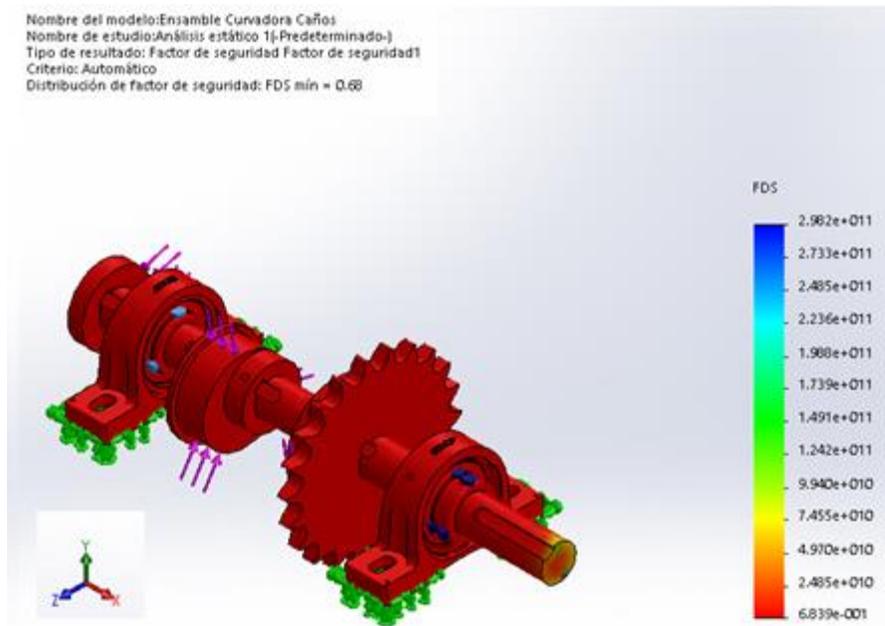
Figura 48: Análisis de desplazamiento estático



Fuente: Autores

Adicionalmente, el programa entrega también un factor de seguridad de 0,7 (Figura 49), aunque es más bajo que 1 se considera que es suficiente para asegurar que el equipo no va a fallar y cumplirá con la función para la que fue diseñado sin problema.

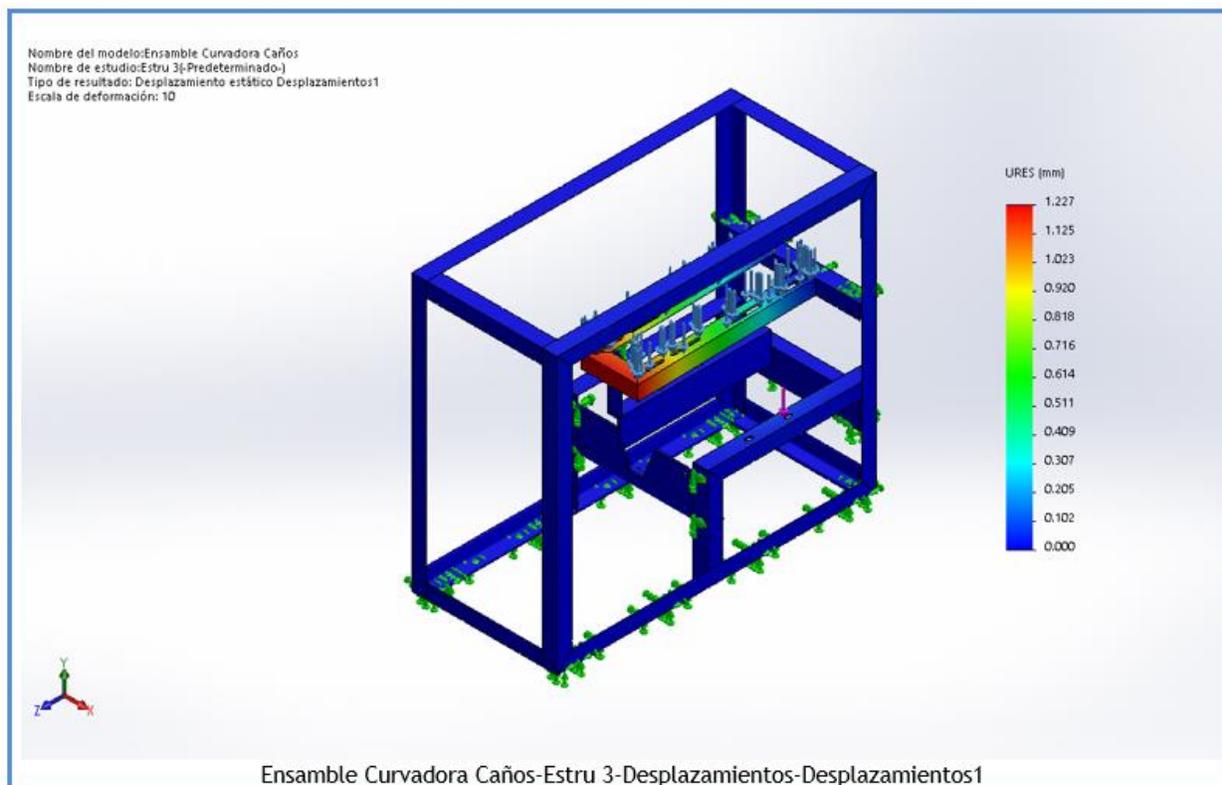
Figura 49: Factor de seguridad del eje principal



Fuente: Autores

Por último, se hace un estudio para evaluar el desplazamiento que se puede llegar a causar en la estructura debido a las fuerzas que se van a ejercer en la misma, en el mencionado estudio, tal y como se ve en la Figura 50, se ve que el desplazamiento máximo que puede sufrir la estructura es de 1,2 mm, valor que por ser tan bajo no representa ningún peligro para el equipo a largo plazo.

Figura 50: Deformación unitaria en la estructura



Fuente: Autores

De forma complementaria, antes de llevar a cabo el proceso de construcción, se realizó una animación en la que se pone en marcha el equipo por medio del software, de esta forma se comprobó que las dimensiones y características de cada pieza se acoplaban dando un correcto funcionamiento de la máquina, que la cuña de desplazamiento realizaba el avance y en simultaneo el mecanismo delantero coordinaba perfectamente la apertura y cierre para realizar la curva. Esta animación será anexada en formato mp4 a la entrega del documento.

3. Construcción y análisis económico

3.1 Construcción

Una vez hecho el diseño y decidido el material se procede a iniciar el proceso de construcción, para esto se compraron láminas de Acero 1045 de $\frac{1}{2}$ " de espesor para luego proceder a cortar cada una de las piezas en una cortadora eléctrica de acuerdo a la planimetría ya hecha tal y como se muestra en la Figura 51.

Figura 51: Componentes de la máquina hechos en cortadora eléctrica



Fuente: Autores

Algunas partes como la biela o los eslabones del mecanismo delantero requerían de agujeros para su ensamblado, por lo que se taladran o se hizo conformado de estas en torno hasta conseguir que el elemento quedará igual al diseño, en las Figuras 52 y 53 se muestra lo descrito con anterioridad.

Después se corta y se procede a soldar la estructura hecha en ángulo de $3/16 \times 1-1/2$ y se va a encarar de contener las piezas que realizarán el doblado (Figura 54), adicionalmente se acoplan el ángulo de soporte del eje y la tapa en la que se ensambla el mecanismo delantero para fijarlos a la estructura (Figura 55).

Figura 52: Biela siendo sometida a taladrado



Fuente: Autores

Figura 53: Eslabón de mecanismo delantero siendo sometida a taladrado



Fuente: Autores

Figura 54: Estructura de la máquina



Fuente: Autores

Figura 55: Ángulo de soporte y cortes frontales



Fuente: Autores

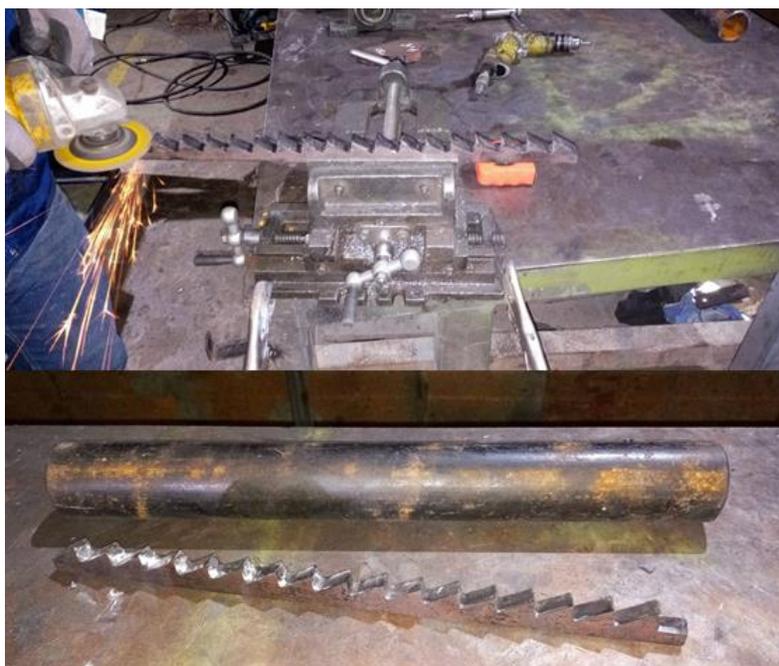
Una vez listas las platinas se unen y se fijan a la parte delantera de la estructura para iniciar el conformado del mecanismo delantero (Figura 56). Siguiendo el procedimiento anterior, se manufactura la cremallera a avance y se une al tubo que servirá de soporte en el movimiento (Figuras 57), también se unen con soldadura una platina y el rodamiento excéntrico dando como resultado la cuña de desplazamiento (Figura 58).

Figura 56: Conformado del mecanismo delantero de la máquina



Fuente: Autores

Figura 57: Perfeccionamiento del ángulo de corte de la cremallera a avance



Fuente: Autores

Figura 58: Cuña de desplazamiento



Fuente: Autores

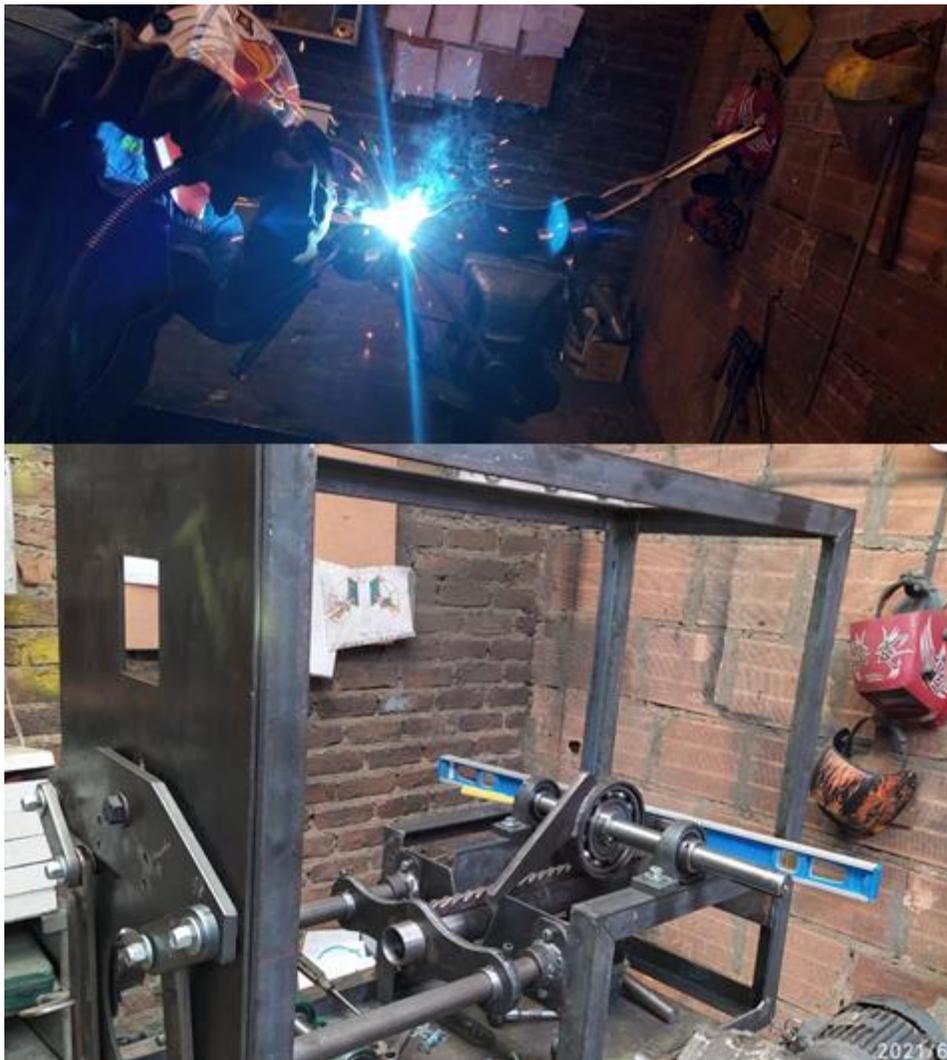
Con estas piezas se empieza a ensamblar y formar el mecanismo trasero del equipo (Figura 59), se aseguran por medio de soldadura las guías y los tubos (Figuras 60).

Figura 59: Montaje del mecanismo trasero



Fuente: Autores

Figura 60: Unión por soldadura de las guías y tubos



Fuente: Autores

Finalmente se une por soldadura el soporte del motor, posteriormente se ubica el motor, el sistema de transmisión y la caja que contendrá el circuito encargado de activar el equipo, por ende, el mecanismo de doblado y también apagar la máquina. En la Figura 61 se muestra en su totalidad la máquina.

Figura 61: Máquina dobladora de tubos con accionamiento eléctrico



Fuente: Autores

3.2 Presupuesto

Para llevar a cabo el proyecto se incurre en una serie de gastos los cuales se presentan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2: Presupuesto

COSTO DE LA FABRICACION DE LA MAQUINA DOBLADORA DE TUBOS CON ACCIONAMIENTO ELECTRICO					
1	DESCRIPCION	UND	CANTI	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1,1	Platinas en acero, ejes de acero, tomilleria, ángulos, perforaciones	Glo	1	\$ 3.400.000,00	\$ 3.400.000,00
1,2	Catrina y cadena	Glo	1	\$ 560.000,00	\$ 560.000,00
1,3	Control eléctrico con todos sus componentes	UN	1	\$ 360.000,00	\$ 360.000,00
1,4	Motor de 3hp, motorreductor	UN	1	\$ 1.950.000,00	\$ 1.950.000,00
1,5	Pintura	Glo	1	\$ 265.000,00	\$ 265.000,00
1,6	Tubería para ensayos de doblez	UN	12	\$ 12.500,00	\$ 150.000,00
1,7	Mano de obra soldadura y mecanizado	Glo	1	\$ 1.400.000,00	\$ 1.400.000,00
1,8	Láminas de galvanizado para pruebas	UN	3	\$ 76.000,00	\$ 228.000,00
Total Costo Directo					8.313.000

Fuente: Autores

3.3 Análisis económico

Con base en los datos descritos en la introducción con respecto a la cantidad de dobleces que se llegan a realizar con el nuevo equipo, se hizo un estudio económico principalmente para conocer el tiempo que tarda la empresa en recuperar la inversión inicial en la máquina tal y como se muestra a continuación. Si se pueden llegar a manufacturar 140 tubos al día, significa que se estarían doblando alrededor de 3500 tubos al mes.

Esto sin lugar a dudas va a generar un gran aumento en las ventas de la empresa y reducirá gastos en el salario de un operador, adicionalmente garantiza un producto final de mayor calidad debido a que se minimizan los errores que pueden ser causados por manualmente por los operarios o incapacidades para los mismos por daños físicos que pueden ascender hasta los 250.000 pesos mensuales. Según el representante legal de la empresa, los precios actuales que manejan por el doblado de curvas de distintas medidas son:

- *Curva de 2"* = 13.000
- *Curva de 3"* = 18.000
- *Curva de 4"* = 20.000
- *Curva de 5 – 1/2"* = 23.000

Debido a que la máquina está especialmente diseñada para doblar tubos desde una medida de 2" hasta 5-1/2", se toma el valor de las curvas de 2" para el análisis y se realiza una operación que determina el valor que se obtiene al procesar los 3500 tubos al mes.

$$3500 * 13.000 = 45'500.000$$

Este sería el promedio de producción mensual del cual se extrae el 5% que es la ganancia por cada doblez.

$$45'500.000 * 5\% = 2'275.000$$

Se obtendría una ganancia neta mensual de un 5% que corresponde 2'275.000, esto indica que, la inversión se estaría recuperando en tan solo 4 meses de trabajo por el nivel de producción que se generaría.

3.4 Análisis de eficiencia energética

Adicionalmente se realiza un estudio que muestre el aumento o disminución de la energía consumida por el equipo nuevo y los equipos actuales usados para corte y soldadura, con este último, la empresa asegura que el consumo de energía por cada curva es de 150 pesos lo que quiere decir que:

$$150 \text{ pesos} * 80 \text{ curvas} = 12000 \text{ pesos diarios}$$

$$12000 \text{ pesos diarios} * 25 \text{ días} = 300.000 \text{ pesos mensuales en consumo de energía}$$

Con el equipo realizado en este proyecto el consumo sería el siguiente:

$$\text{Consumo } 5 \text{ amp convertidos a kw} = 1.52\text{kw}$$

$$7 \text{ horas al día} \times 25 \text{ días} = 175 \text{ horas al mes}$$

$$1,52\text{kw} \times 175 \text{ horas} = 266 \text{ kwh}$$

$$266\text{kwh} \times 617 \text{ pesos} = 164.122 \text{ pesos}$$

Quiere decir que el consumo de la máquina en el mes con un trabajo de 7 horas diarias, es de 164.122 pesos. En cuanto al consumo eléctrico también se generaría un ahorro para la empresa de 135.878 pesos al mes, ya que la diferencia entre los dos consumos de energía es:

$$300.000 - 164.122 = 135.878$$

4. Pruebas funcionales

Para poder llevar a cabo las pruebas funcionales, el límite principal que se presentó fue debido a costos, esto a causa de que por los gastos que generó la construcción de la máquina el presupuesto para las pruebas era muy corto, es por ello que solo se pudieron doblar 5 tubos. Para esto se compró una lámina de galvanizado.

Con el fin de reducir los gastos, la empresa ISEK quien cuenta con dobladora, cortó y dejó listos los tubos de 4" para los ensayos de doblado (Figura 62) así que, siguiendo las actividades de la metodología lo primero que se hizo fue una prueba de movilidad, para esto se realiza la puesta en marcha de la máquina, se utilizan los implementos de seguridad que se nombran en el manual de operaciones (Anexo 19).

Figura 62: Tubos de 4" para pruebas funcionales



Fuente: Autores

Una vez encendida lo primero que se procede a verificar es que el motor arranque bien, para esto le proporciona energía observando que la rotación es continua y que el eje no presenta algún tipo de vibración que complique el uso del mismo.

Una vez probado el motor, este se conecta el sistema de transmisión por cadena – catarina y al eje principal para ensayar el movimiento del mecanismo delantero encargado del doblado. Al dar arranque al motor, se acciona el sistema de transmisión que a su vez mueve el eje principal, posteriormente inicia movimiento el mecanismo delantero de manera coordinada al abrir (Figura 63) y cerrar (Figura 64), con esto se comprueba también que el sistema de biela – manivela funciona correctamente.

Además de chequear el sistema encargado del doblado, se revisa que los componentes que están en el eje, principalmente el mecanismo de transmisión y la cuña de desplazamiento no tienen ningún impedimento para realizar su función, se encuentra que la cadena y las catarinas están correctamente instaladas por lo que el eje rota de acuerdo a lo planteado en el diseño.

Figura 63: Mecanismo delantero abierto



Figura 64: Mecanismo delantero cerrado



Después de verificar que cada elemento que compone la máquina cumpla con su función al realizar el arranque, se procede a insertar un tubo en la máquina y verificar que el ajuste sea correcto para llevar a cabo el proceso (Figura 65), una vez se comprueba lo anterior se da inicio al proceso de doblado de un primer tubo, con esto también se busca probar el funcionamiento de los moldes.

En este proceso se encuentra que tal y como se tenía planeado, la curva se realiza de forma exitosa sin ningún tipo de complicación (Figura 66), por lo que se introduce un segundo tubo y con este, se realiza en simultáneo la tercera actividad propuesta en la metodología que es el cálculo del tiempo promedio que le toma a la curva realizarse. Los resultados se muestran en la Tabla 3, con ánimo de realizar la mayor cantidad de pruebas posibles se aprovechó el largo del tubo al máximo por lo que se pudieron realizar de a 2 curvas en cada uno de ellos.

Figura 65: Comprobación del ajuste del tubo



Fuente: Autores

Figura 66: Prueba funcional número 1



Fuente: Autores

Tabla 3: Resultados de las pruebas funcionales

Número de la prueba	Tiempo en que se realizó el dobléz (segundos)
2	40
3	41
4	40
5	39
6	40
7	41
Tiempo promedio	40,33333333

Fuente: Autores

Las Figuras 67 y 68 muestran los resultados de los ensayos, el tubo A corresponde a la prueba 1, los tubos B, C, D son las pruebas 2,3 – 4,5 y 6.7 respectivamente.

Figura 67: Curvas realizadas en las pruebas funcionales - Evidencia 1



Fuente: Autores

Figura 68: Curvas realizadas en las pruebas funcionales - Evidencia 2



Fuente: Autores

Al analizar los resultados reflejados en la Tabla 3, se puede notar que el tiempo promedio que se tarda la máquina en realizar una curva es de 40, esto es aproximadamente 0,66 minutos, y volviendo a los cálculos hechos en el apartado 2, se comprueba que el motor efectivamente está suministrando la potencia y velocidad por proceso mínima necesaria, para cumplir con la meta que tiene trazada la empresa ISEK que es de 0,8 minutos por curva.

Una vez realizadas las pruebas funcionales se comprueba que el diseño que se realizó funciona de acuerdo a lo esperado, siendo capaz de doblar tubos a una velocidad suficiente como para aumentar la productividad de la empresa además de reducir los gastos en operarios que la misma tiene actualmente.

Conclusiones

- Se caracterizó el tipo de máquina que se quería diseñar teniendo en cuenta las particularidades y sugerencias proporcionadas por la empresa ISEK S.A.S, además, se identificaron las piezas principales para su manejo.
- Se calcularon los elementos primordiales para el funcionamiento del equipo como la potencia del motor, se encontró que este necesita tener al menos 0,5 Hp para poder realizar el doblez, también se escogió un mecanismo cadena - sprocket como sistema de transmisión de potencia con relación 2 a 1 y catarinas de 11 y 22 dientes, respectivamente. Adicionalmente se eligieron y referenciaron las marcas escogidas para el modelo final.
- Con ayuda del software CAD Solid Edge se ilustra el diseño final de la estructura y de cada una de las piezas del equipo, también se realiza toda la planimetría necesaria para su posterior construcción. En software SolidWorks se realiza un análisis estático que muestra que el desplazamiento máximo que sufrirá la máquina es de $5,534e-001$ mm y que el criterio de von Mises al ser de $1,7 e-009$ MPa no supera el límite elástico del material, con lo anterior se asegura el no fallo del equipo.
- Se hacen pruebas de puesta en marcha del equipo en las que se encuentra que al conectar el motor al sistema eléctrico enciende sin contratiempos, adicionalmente el eje del mismo rota sin vibraciones que puedan complicar el movimiento al unir el sistema de transmisión. Al ensamblar el mecanismo cadena – sprocket se nota que funciona tal y como se calculó, por lo que el eje principal transmite movilidad a las piezas de manera idónea realizando el doblez.

- Al realizar 7 curvas con la máquina y tomar los tiempos que tarda el equipo en hacerlas, se comprueba que el motor está suministrando la potencia necesaria para que la velocidad por proceso sea de 0,66 minutos (40 segundos), de esta manera se puede cumplir con la meta que tiene trazada la empresa ISEK que es de 0,8 minutos (48 segundos) por curva.
- A la empresa le tomará aproximadamente 4 meses recuperar la inversión realizada en el equipo, adicionalmente según el análisis realizado, no solo reducen gastos al necesitar un operario menos sino que, también el consumo energético generaría un ahorro para la empresa de 135.878 pesos al mes.

Recomendaciones

- Realizar pruebas funcionales con una mayor cantidad de tubos, esto además de dar mayor confiabilidad a la máquina puede ayudar a garantizar el uso por largos periodos del equipo.
- Diseñar moldes que permitan usar diámetros mayores o menores, dependiendo los distintos usos en la industria, de esta forma se puede aprovechar al máximo el equipo.
- Optimizar el control eléctrico de tal manera que se detecte el fin de la curva y el apagado sea automático, así se pueden minimizar aún más los errores humanos y las posibles pérdidas a causa de esto.

Anexos

Anexo 1: especificación de los sprockets [32]

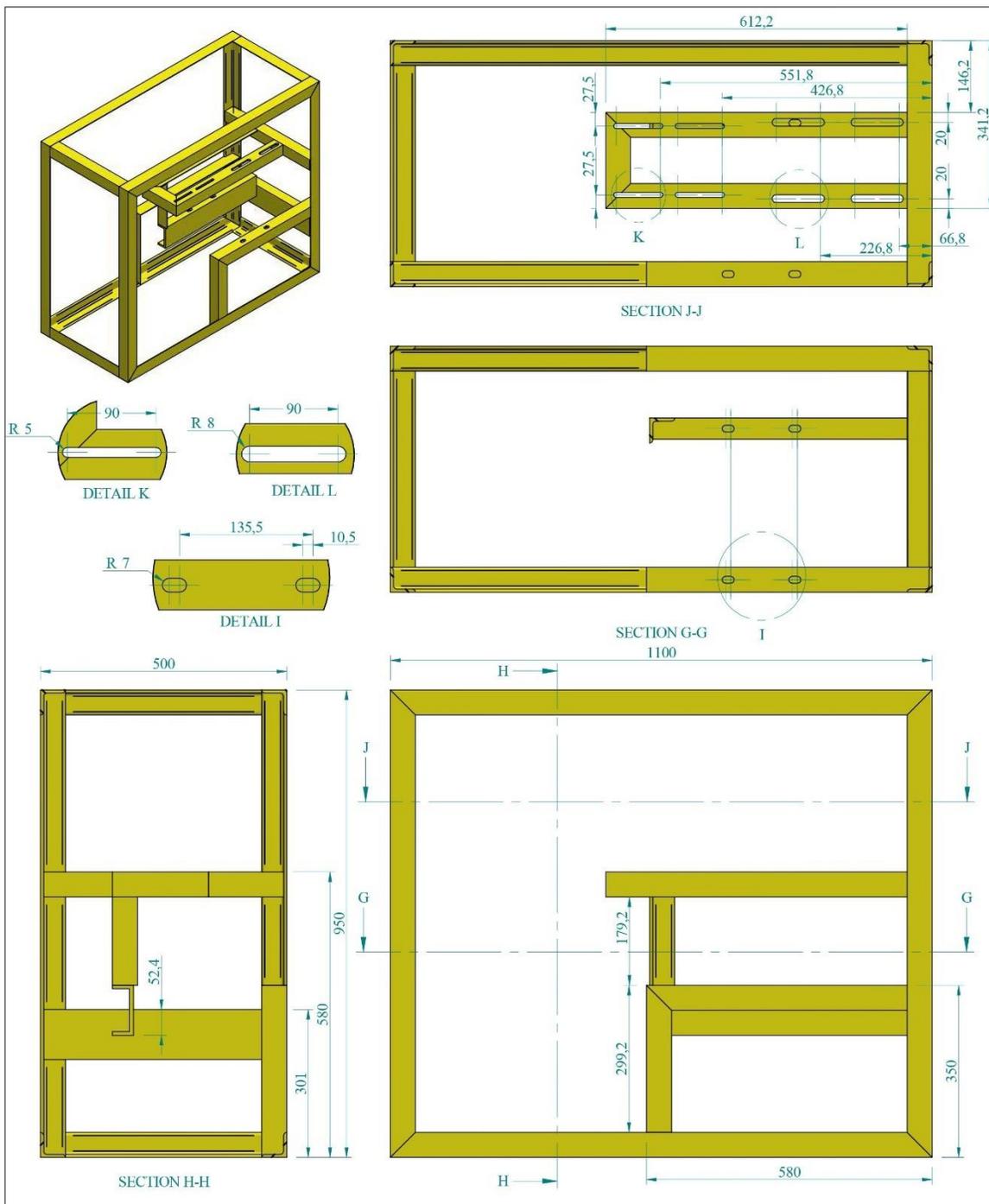
	<p>Sprockets de Acero en Existencia</p>	<p>No. 80 Paso 1"</p>
---	--	----------------------------------

Tipo BS — Barreno a la Medida — 2 Opresores

No. de Dientes	Número de Parte	Diámetro Exterior	Largo Total del Barreno	Peso Aprox. (lb)	Barrenos a la Medida en Existencia															
					Incluye Cuñero y 2 Opresores															
9	80BS9	3.350	1%	1.6	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%											
10	80BS10	3.680	1%	1.7	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%											
10	80BS10W*	3.680	1%	1.7																
11	80BS11	4.010	1%	1.8	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%
11	80BS11W*	4.010	1%	1.8																
12	80BS12	4.330	1%	3.0	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%
12	80BS12W*	4.330	1%	3.0																
13	80BS13	4.660	1%	3.5	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
14	80BS14	4.980	1%	4.1	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
15	80BS15	5.300	1½	5.2	1	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
15	80BS15W*	5.300	1½	5.2																
16	80BS16	5.630	1%	5.3	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
17	80BS17	5.950	1%	6.0	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
18	80BS18	6.270	1%	6.5	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
18	80BS18W*	6.270	1%	6.0	1½															
19	80BS19	6.590	1%	7.0	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
20	80BS20	6.910	1%	8.0	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
21	80BS21	7.240	1%	8.9	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
22	80BS22	7.560	1%	9.5	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
23	80BS23	7.880	1%	10.2	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
24	80BS24	8.200	1%	10.8	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
25	80BS25	8.520	1%	11.4	1		— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 1%	— 2
26	80BS26	8.840	2	14.0																— 2½
27	80BS27	9.160	2	14.7																— 2½
28	80BS28	9.480	2	15.3																— 2½
29	80BS29	9.800	2	16.4																— 2½
30	80BS30	10.110	2	16.7																— 2½
31	80BS31	10.430	2	18.0																— 2½
32	80BS32	10.750	2	18.8																— 2½
33	80BS33	11.070	2	18.9																— 2½
34	80BS34	11.390	2	20.6																— 2½
35	80BS35	11.710	2	21.4																— 2½
36	80BS36	12.030	2	22.4																— 2½
37	80BS37	12.350	2	23.9																— 2½
38	80BS38	12.670	2	24.0																— 2½
39	80BS39	12.990	2	24.9																— 2½
40	80BS40	13.310	2	26.0																— 2½
41	80BS41	13.630	2	27.1																— 2½
42	80BS42	13.940	2	28.0																— 2½
43	80BS43	14.260	2	29.3																— 2½
44	80BS44	14.580	2	29.3																— 2½
45	80BS45	14.900	2	30.7																— 2½
46	80BS46	15.220	2	32.4																— 2½
47	80BS47	15.540	2	33.3																— 2½
48	80BS48	15.860	2	34.8																— 2½
49	80BS49	16.180	2	35.1																— 2½
50	80BS50	16.500	2	36.6																— 2½
51	80BS51	16.810	2	38.5																— 2½
52	80BS52	17.130	2	40.3																— 2½
53	80BS53	17.450	2	42.2																— 2½
54	80BS54	17.770	2	44.0																— 2½
55	80BS55	18.090	2	46.3																— 2½
56	80BS56	18.410	2	47.3																— 2½
57	80BS57	18.730	2	48.9																— 2½
58	80BS58	19.040	2	50.6																— 2½
59	80BS59	19.360	2	52.2																— 2½
60	80BS60	19.680	2	58.8																— 2½

* W = Sprocket Winche - Cuñero ½ x ½ - Opresores a 90°.
 Los diámetros de las mazas varían para ajustarse a los diferentes tamaños de barrenos.
 NOTA: EL CUÑERO SE ENCUENTRA EN LA LÍNEA DE CENTRO DEL DIENTE

Anexo 2: dimensiones de la estructura



 <p>UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	Facultad de ingeniería mecánica	PROYECTO: Curvadora de Caños	TITULO: Dimensiones Estructura	
	Dibujado: Jorge Luciano Robles Hamir Alberto Mojica	Fecha: 09/2021	Escala: 1:1	Dimensiones en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°
	Revisado: Msc. Omar Rojas Moreno	Rev: 09/2021	Plano N°: 4	

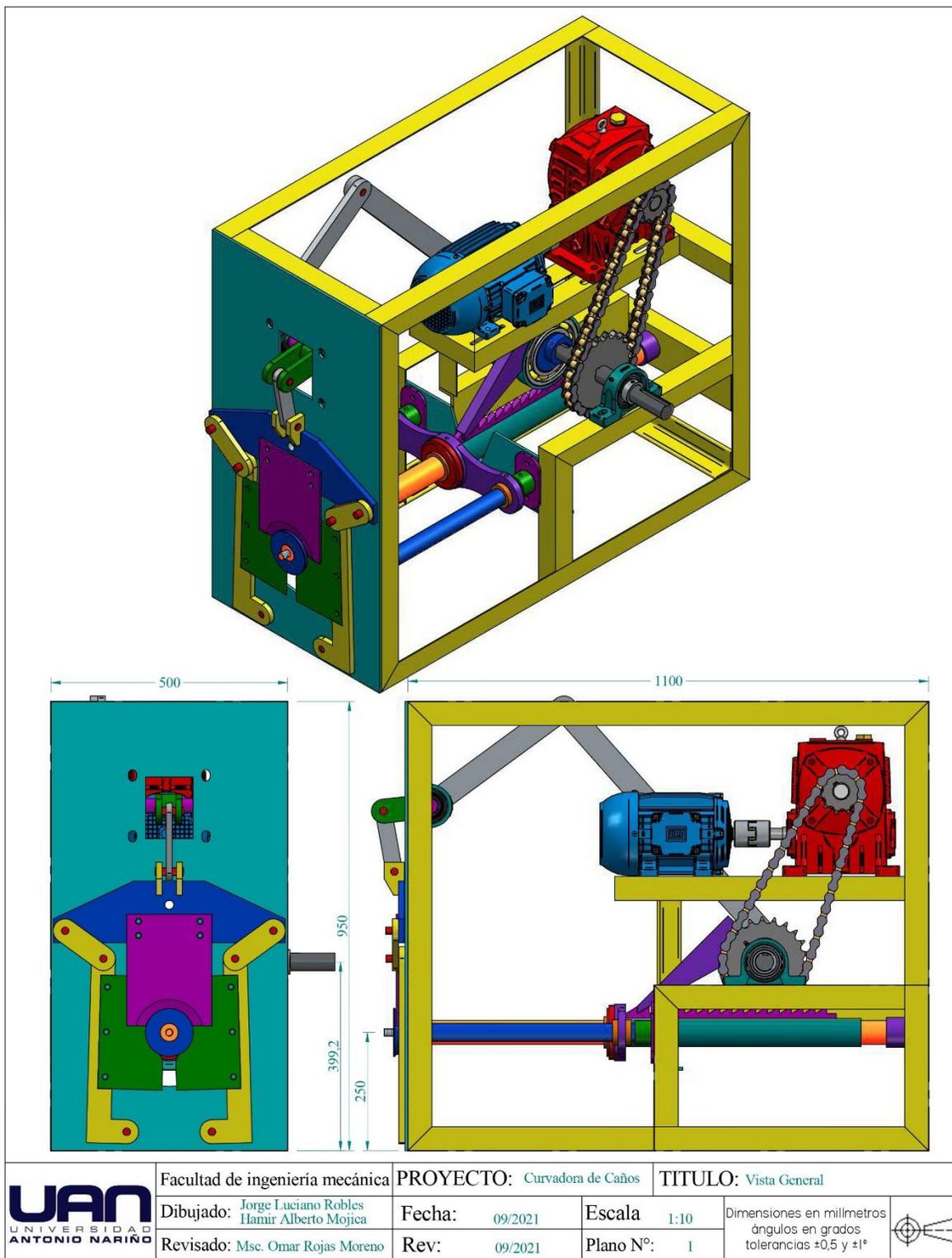


Anexo 3: estructura despiece

N	Nombre	Cant	Long de corte
13	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	1100.00 mm
14	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	950.00 mm
15	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	398.40 mm
20	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	580.00 mm
21	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	350.00 mm
25	Ang 2 x 2 x 1/4 in_mir	1	580.00 mm
26	Ang 2 x 2 x 1/4 in_mir	1	350.00 mm
32	Canal U 4 in	1	486.00 mm
34	Canal U 4 in	1	522.85 mm
39	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	487.30 mm
40	Ang 2 x 2 x 1/4 in	2	612.20 mm
41	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	195.00 mm
42	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	179.20 mm

Facultad de ingeniería mecánica		PROYECTO: Curvadora de Caños		TITULO: Estructura despiece	
 Dibujaado: Jorge Luciano Robles Ilustrado: Hamir Alberto Mojica	Fecha:	09/2021	Escala:	1:1	Dimensiones en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°
	Rev:	09/2021	Plano N°:	3	

Anexo 4: vista general de la máquina



Anexo 5: explosionado de la máquina y lista de piezas

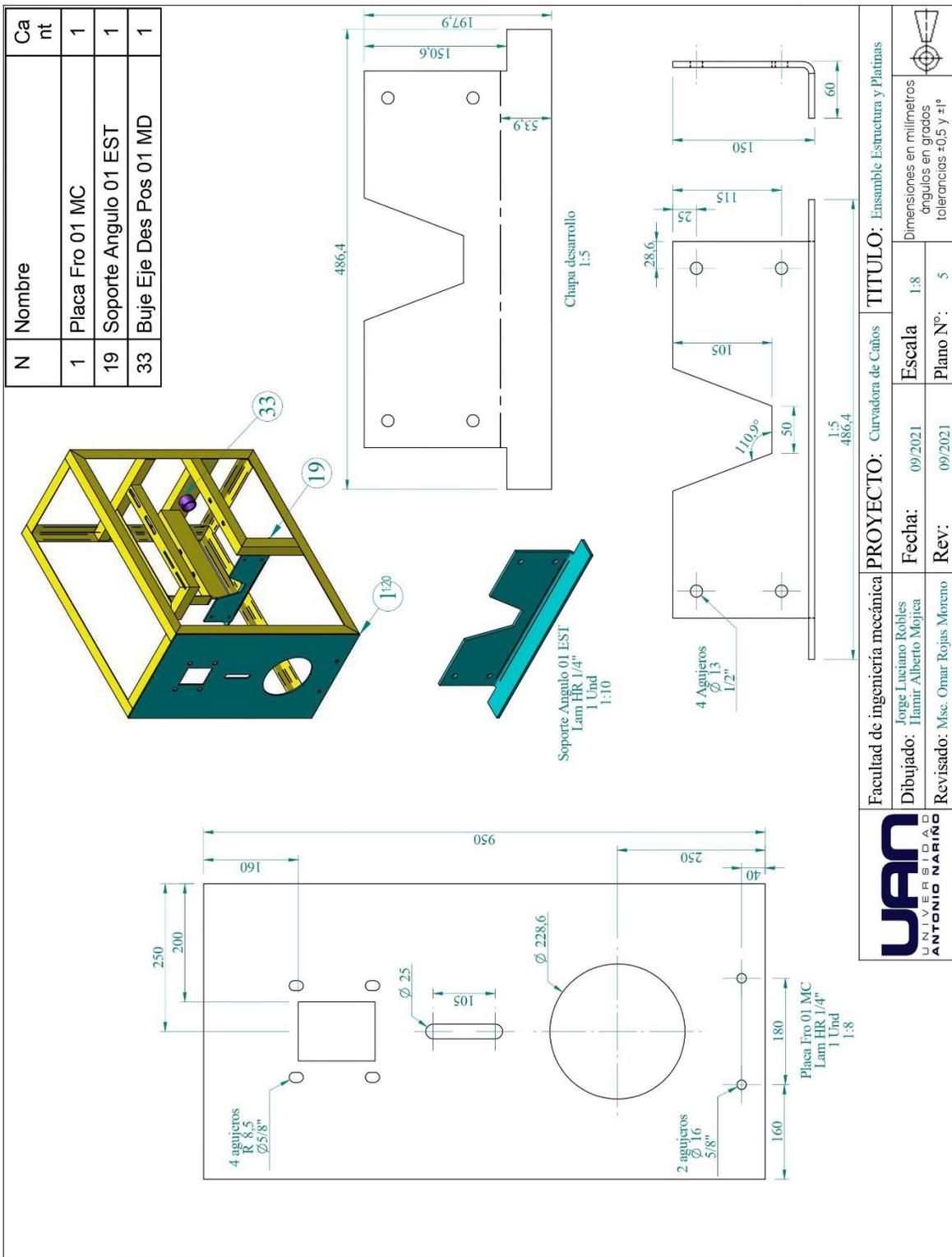
N	Nombre	Cant	Long de corte
1	Placa Fro 01 MC	1	
2	Placa Establon 01 MC	1	
3	Bielas 02 MC	1	
4	Bielas 01 MC	2	
5	Chapa Dado Lat 01 MC	1	
6	Chapa Dado Sup 01 MC	1	
7	Refuerzo 01 PE01-MC	2	
8	Chumacera SY 1.25-207	2	
9	Chapa Dado Lat 01 MC_mir	1	
10	Bielas 02 MC_mir	1	
11	Bielas Acople 01 MC	1	
12	Chumacera SY 1.1_2 208	2	
13	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	1100.00 mm
14	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	950.00 mm
15	Ang 2 x 2 x 1/4 in	4	398.40 mm
16	Eje Desplazamiento 01 MD	1	
17	Soporte Eje Guia Lat 01 MD	4	
18	Eje Guia Lat 01 MD	2	
19	Soporte Angulo 01 EST	1	
20	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	560.00 mm
21	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	350.00 mm
22	Guia Desplazamiento 01 MD	1	
23	Tubo D Dentado 01 MD	1	
24	Dado 4 in Pos MC	1	
25	Ang 2 x 2 x 1/4 in_mir	1	560.00 mm
26	Ang 2 x 2 x 1/4 in_mir	1	350.00 mm
27	Eje Motriz 01 ME	1	
28	Rueda Excéntrica 01 ME	1	
29	Rodamiento 6278	1	
30	Cuña Desplazamiento 01 MD	1	
31	Dado 4 in Fro 01 MD	1	
32	Canal U 4 in	1	485.00 mm
33	Buje Eje Des Pos 01 MD	1	
34	Canal U 4 in	1	522.85 mm
35	Manivela 01 MT	1	
36	Bielas 01 MT	1	
37	Pin 01	8	
38	Pin 02	2	
39	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	487.30 mm
40	Ang 2 x 2 x 1/4 in	2	612.20 mm
41	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	195.00 mm
42	Ang 2 x 2 x 1/4 in	1	179.20 mm
43	Motor 90L	1	
44	Reductor 90L	1	
45	Pinon 80B11 1_7_16	1	
46	Pinon 80B22 1_1_2	1	
47	Acopleflex 24	1	
48	Cadena 80B	1	
49	Ers Palanca 01	1	

Facultad de ingeniería mecánica | PROYECTO: Curvedas de Curvas | TÍTULO: Exploración

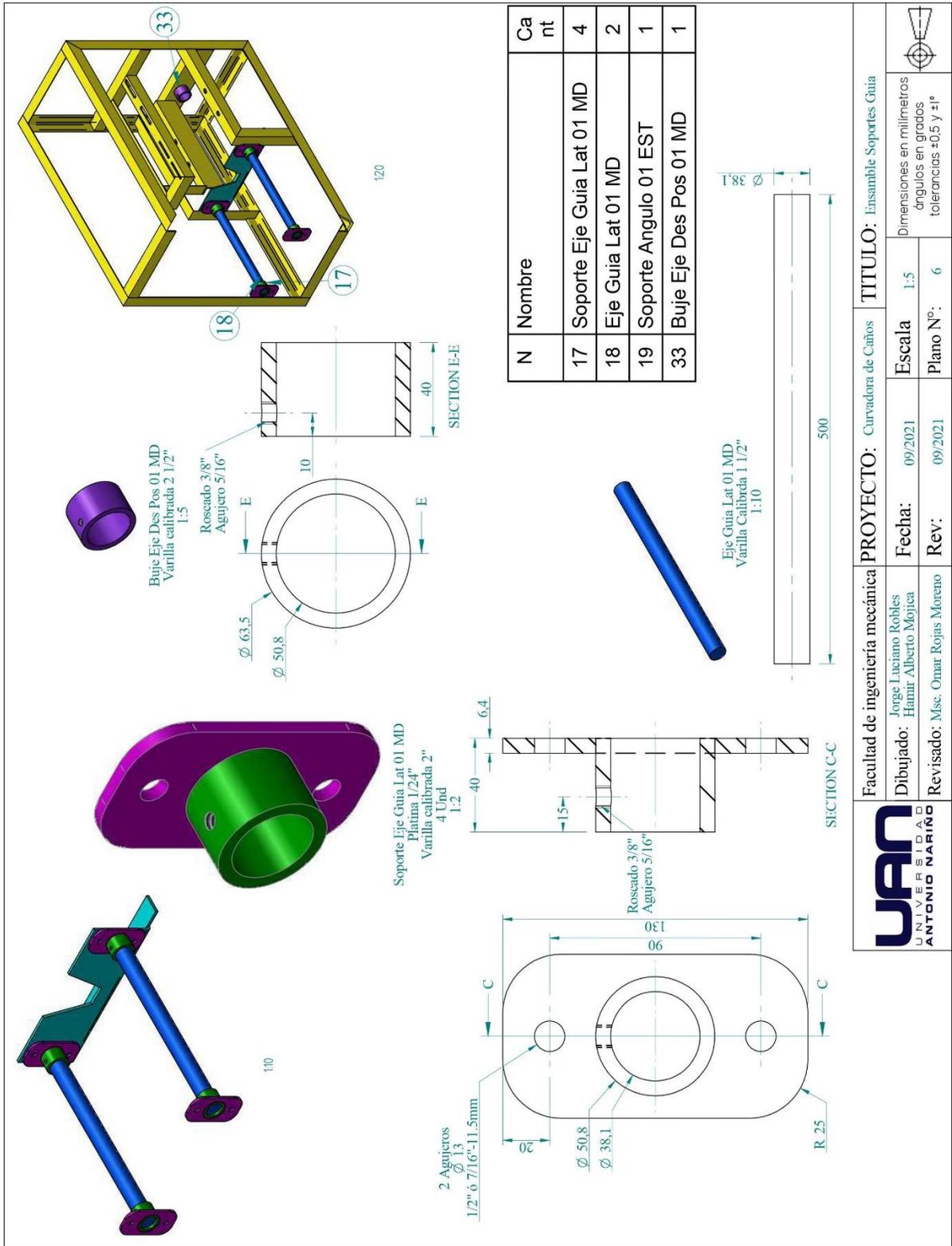
Dibujado: Inga Juliana Ballesteros | Fecha: 09/03/21 | Escuela: 11 | Operaciones en taller

Revisado: Sbc Oscar Rojas Moreno | Rev: 09/03/21 | Plano N°: 2 | Operación 35374

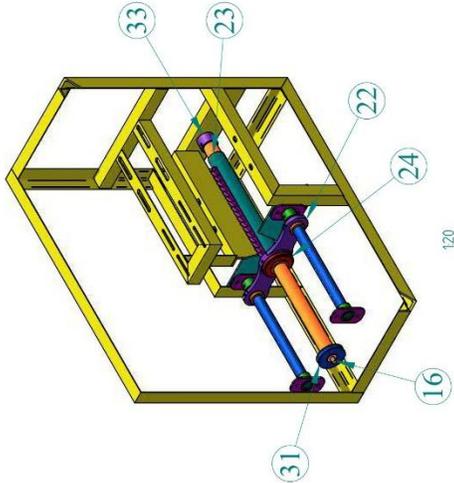
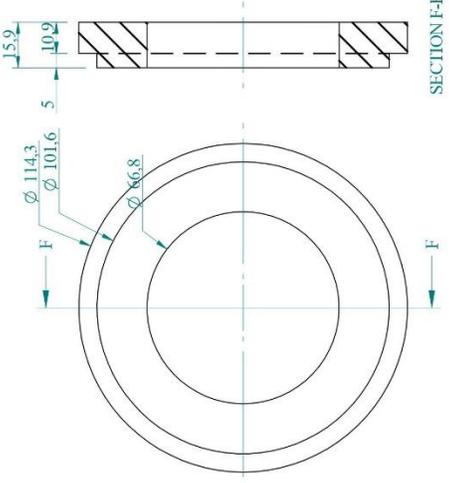
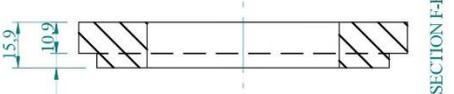
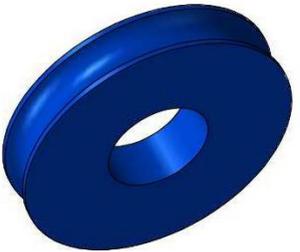
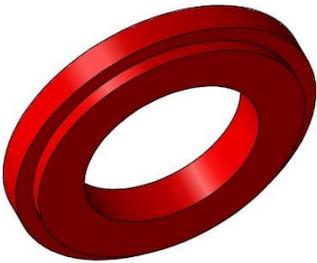
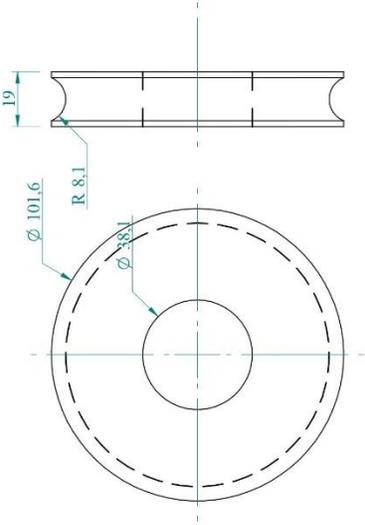
Anexo 6: ensamble estructura y platinas



Anexo 7: ensamble soportes guía



Anexo 8: dados 4 in

N	Nombre	Cant
16	Eje Desplazamiento 01 MD	1
22	Guia Desplazamiento 01 MD	1
23	Tubo D Dentado 01 MD	1
24	Dado 4 in Pos MC	1
31	Dado 4 in Fro 01 MD	1
33	Buje Eje Des Pos 01 MD	1

Dado 4 in Fro 01 MD
Varilla calibrada 4"

Dado 4 in Pos MC
Varilla calibrada 4 1/2"

PROYECTO: Curvadora de Caños

TITULO: Dados 4 in

Facultad de ingeniería mecánica

Dibujado: Jorge Luciano Robles
Hiamir Alberto Mójica

Revisado: Msc. Omar Rojas Moreno

Fecha: 09/2021

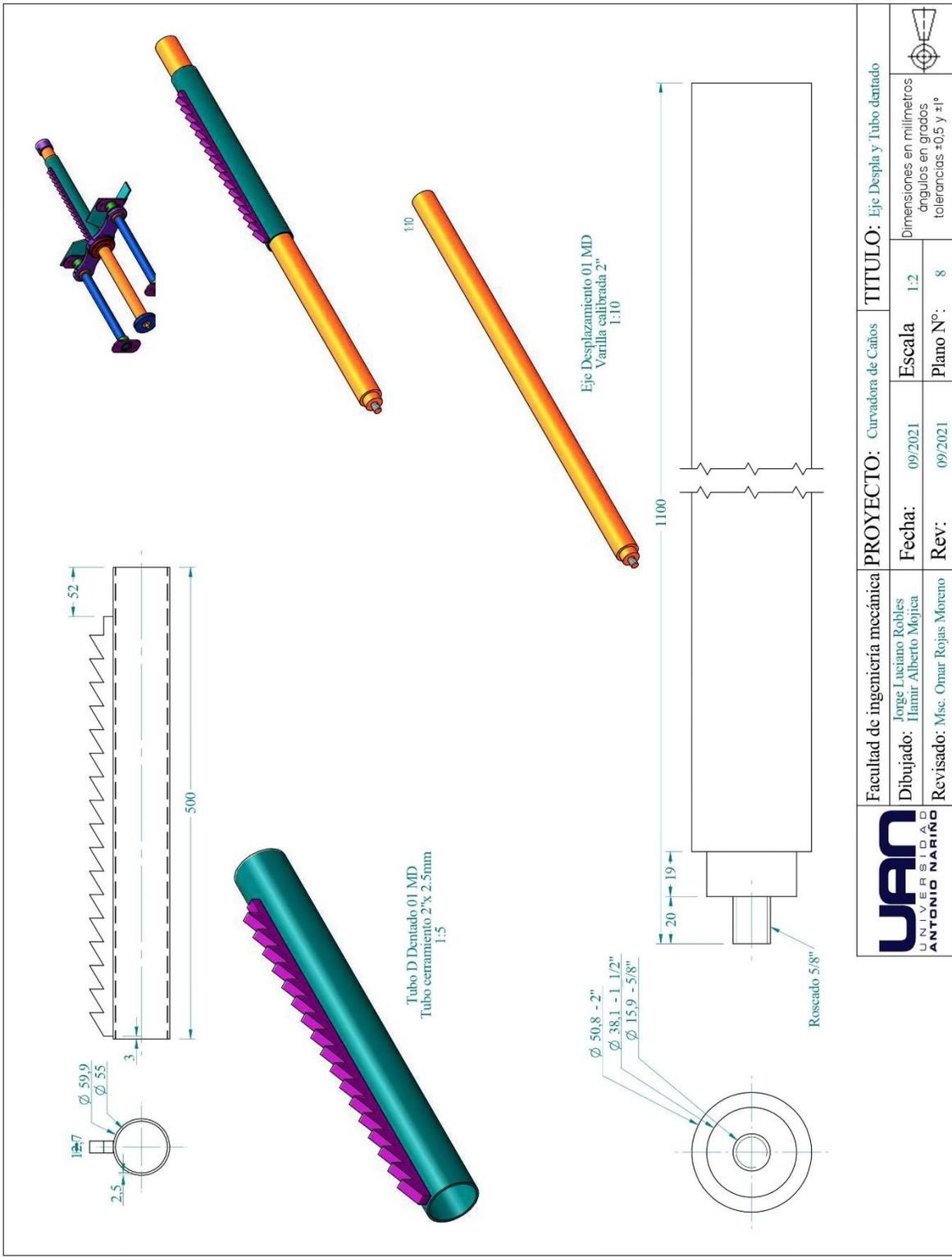
Rev: 09/2021

Escala 1:2

Plano N°: 7

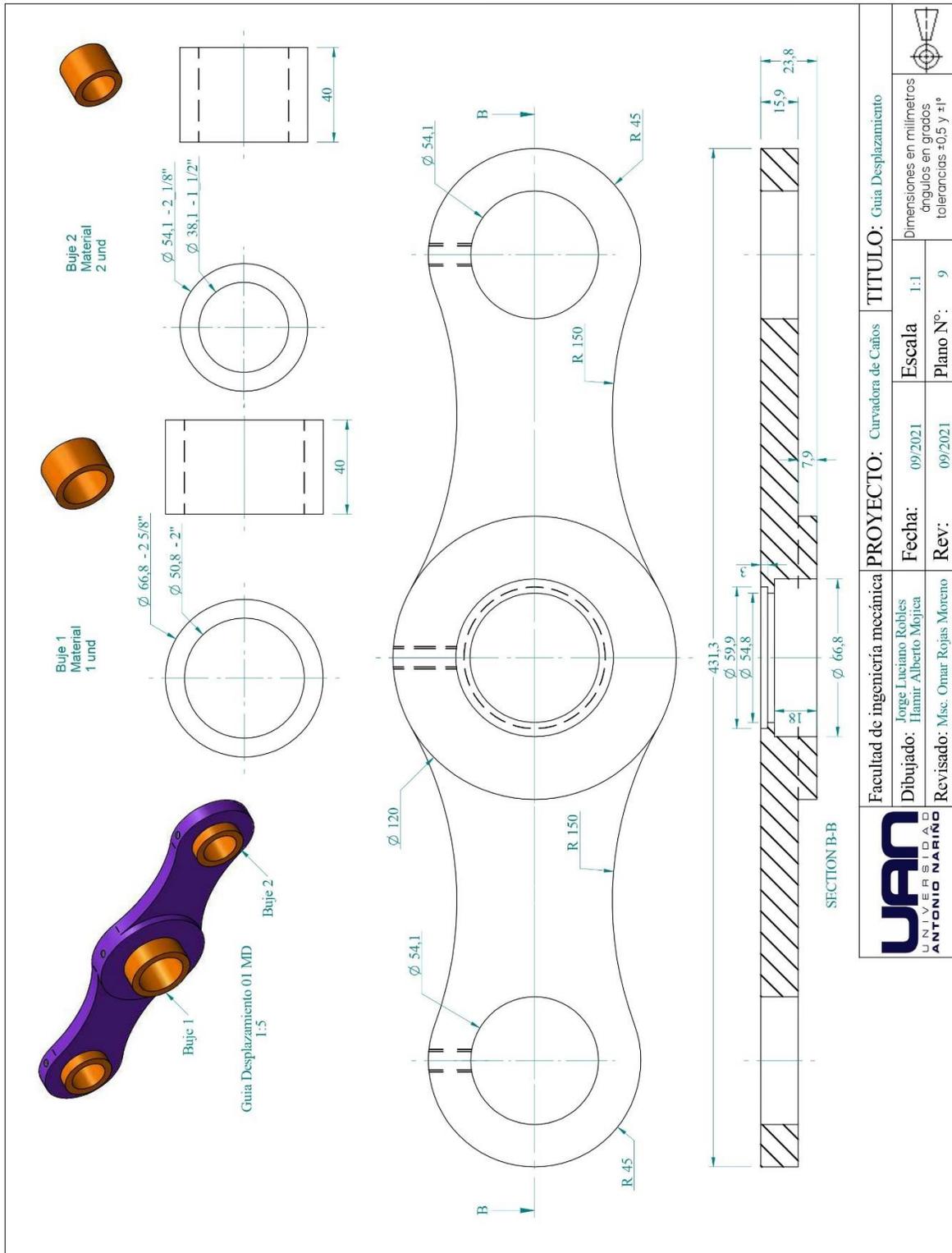
Dimensiones en milímetros
ángulos en grados
tolerancias +0.5 y ±1°

Anexo 9: eje de desplazamiento y tubo dentado (cremallera a avance)

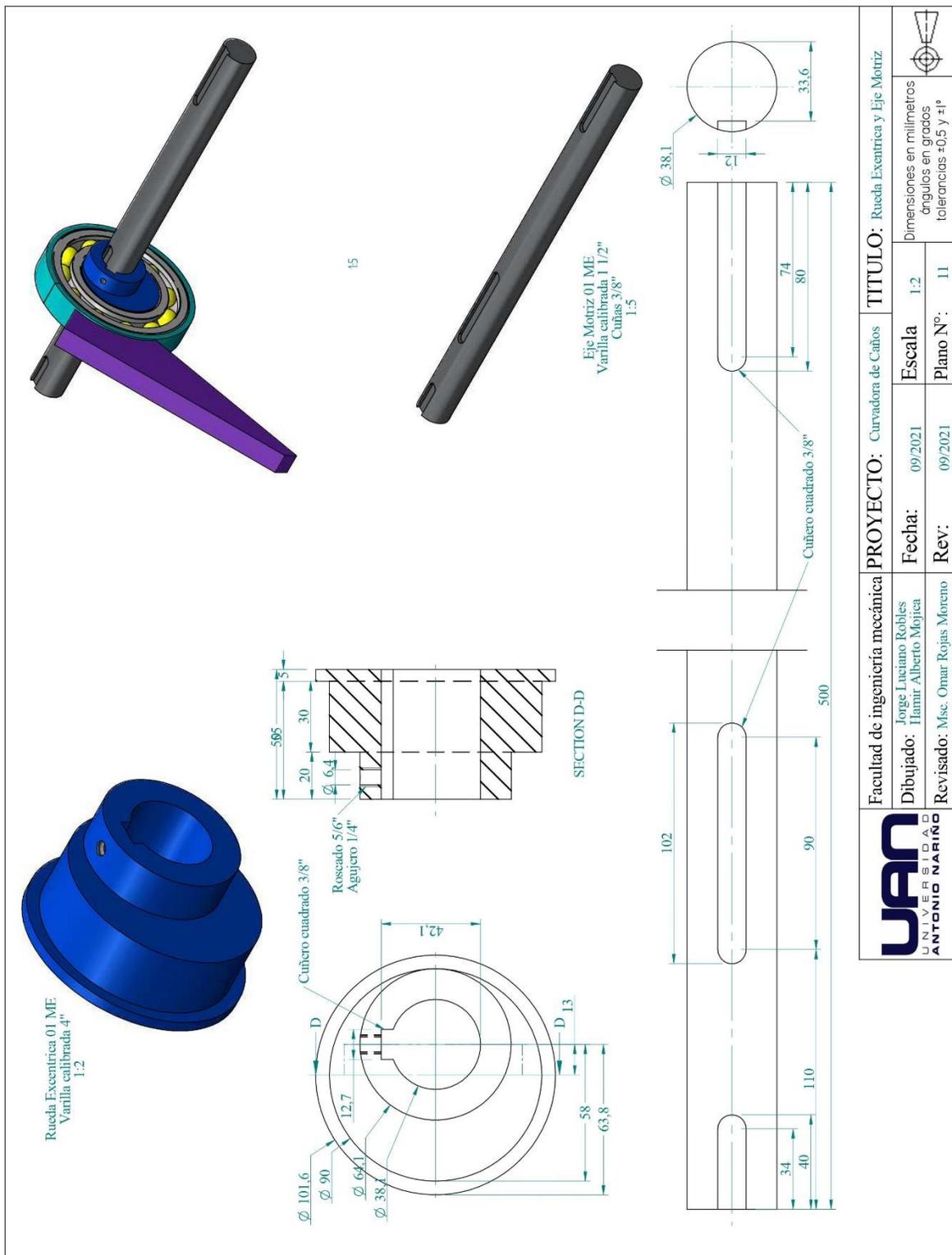


 <p>Facultad de ingeniería mecánica Dibujado: Jorge Luciano Robles Hámar Alberto Mójica Revisado: Msc. Omar Rojas Moreno</p>	<p>PROYECTO: Curvadora de Caños</p>		<p>TÍTULO: Eje Despla y Tubo dentado</p>	
	<p>Fecha: 09/2021</p>	<p>Rev: 09/2021</p>	<p>Escala 1:2</p>	<p>Plano N°: 8</p>

Anexo 10: guía de desplazamiento

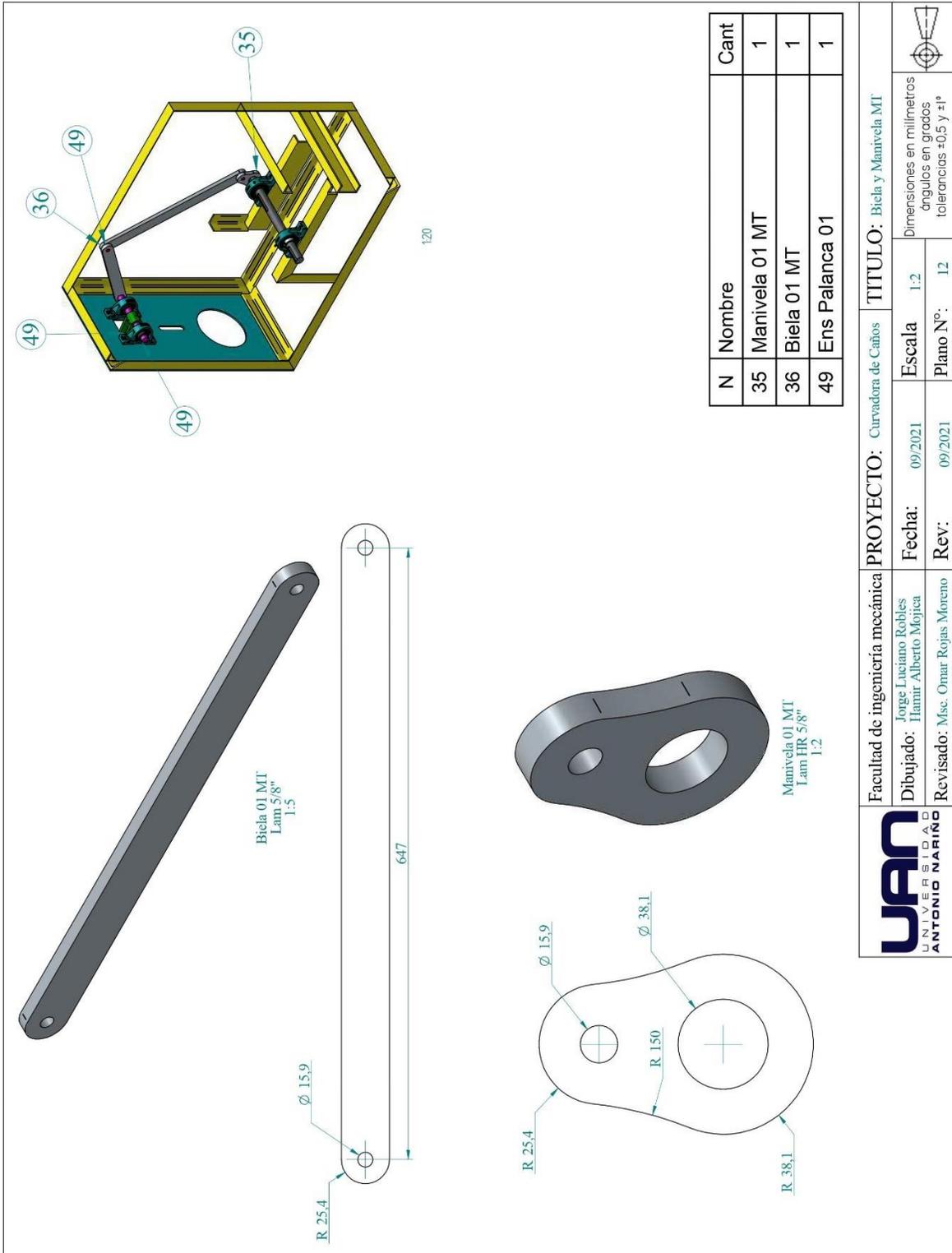


Anexo 12: rueda excéntrica y eje motriz

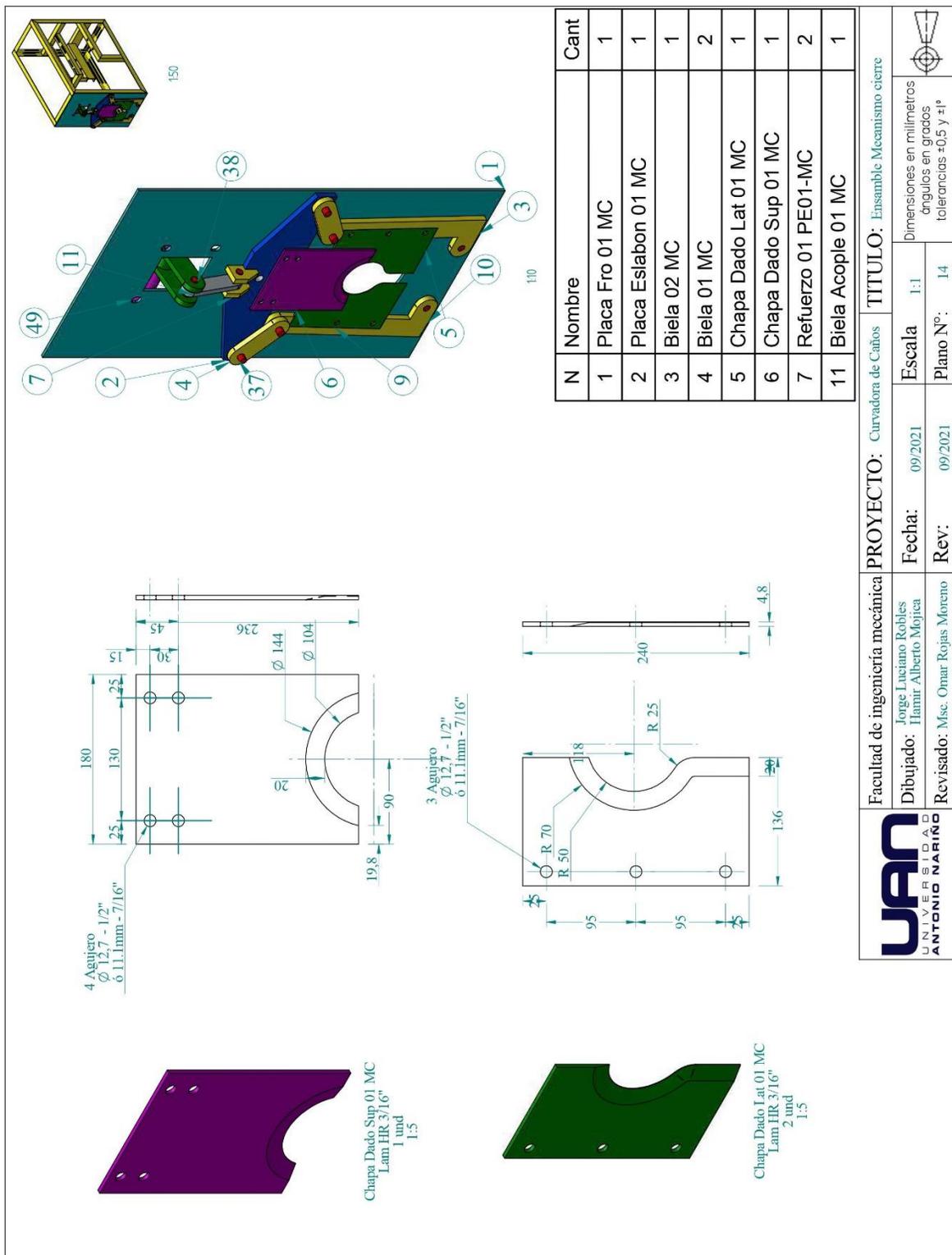


 UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	Facultad de ingeniería mecánica	PROYECTO: Curvadora de Caños	TITULO: Rueda Excéntrica y Eje Motriz	
	Dibujado: Jorge Luciano Robles Ilustrado: Hamir Alberto Mójica Revisado: Msc. Omar Rojas Moreno	Fecha: 09/2021 Rev: 09/2021	Escala: 1:2 Plano N°: 11	Dimensiones en milímetros ángulos en grados tolerancias +0.5 y ±1°

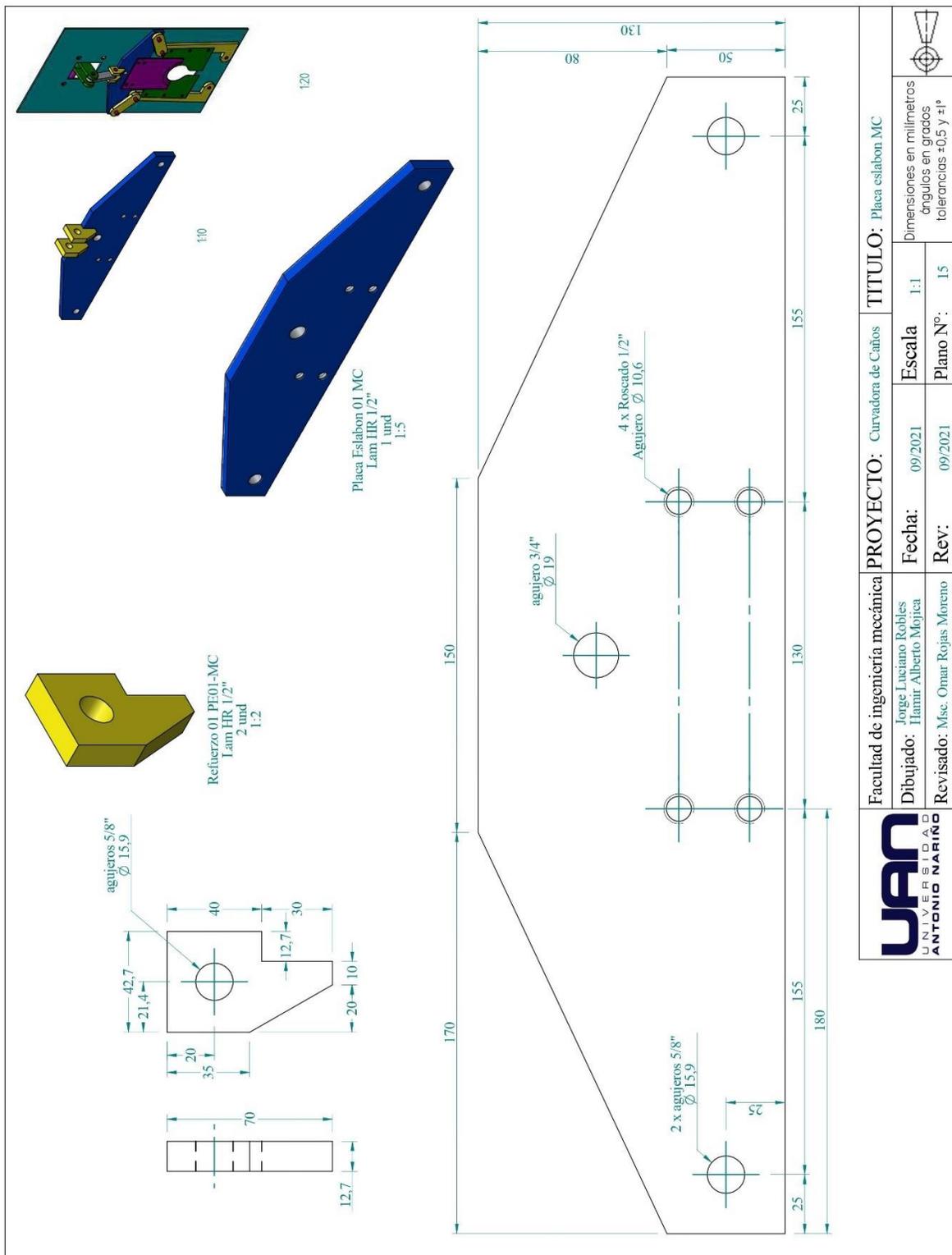
Anexo 13: biela y manivela MT



Anexo 15: ensamble mecanismo cierre

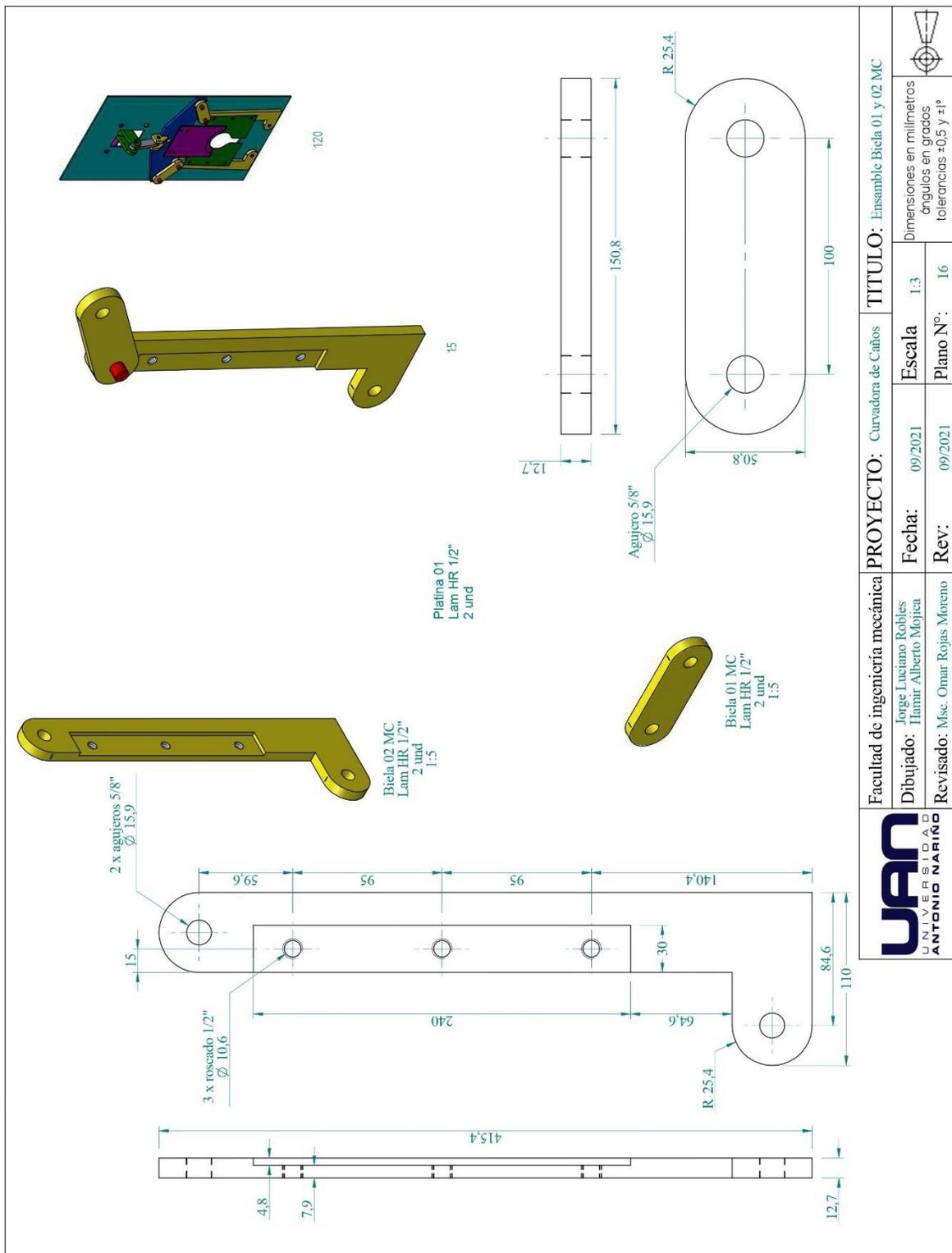


Anexo 16: placa eslabón MC

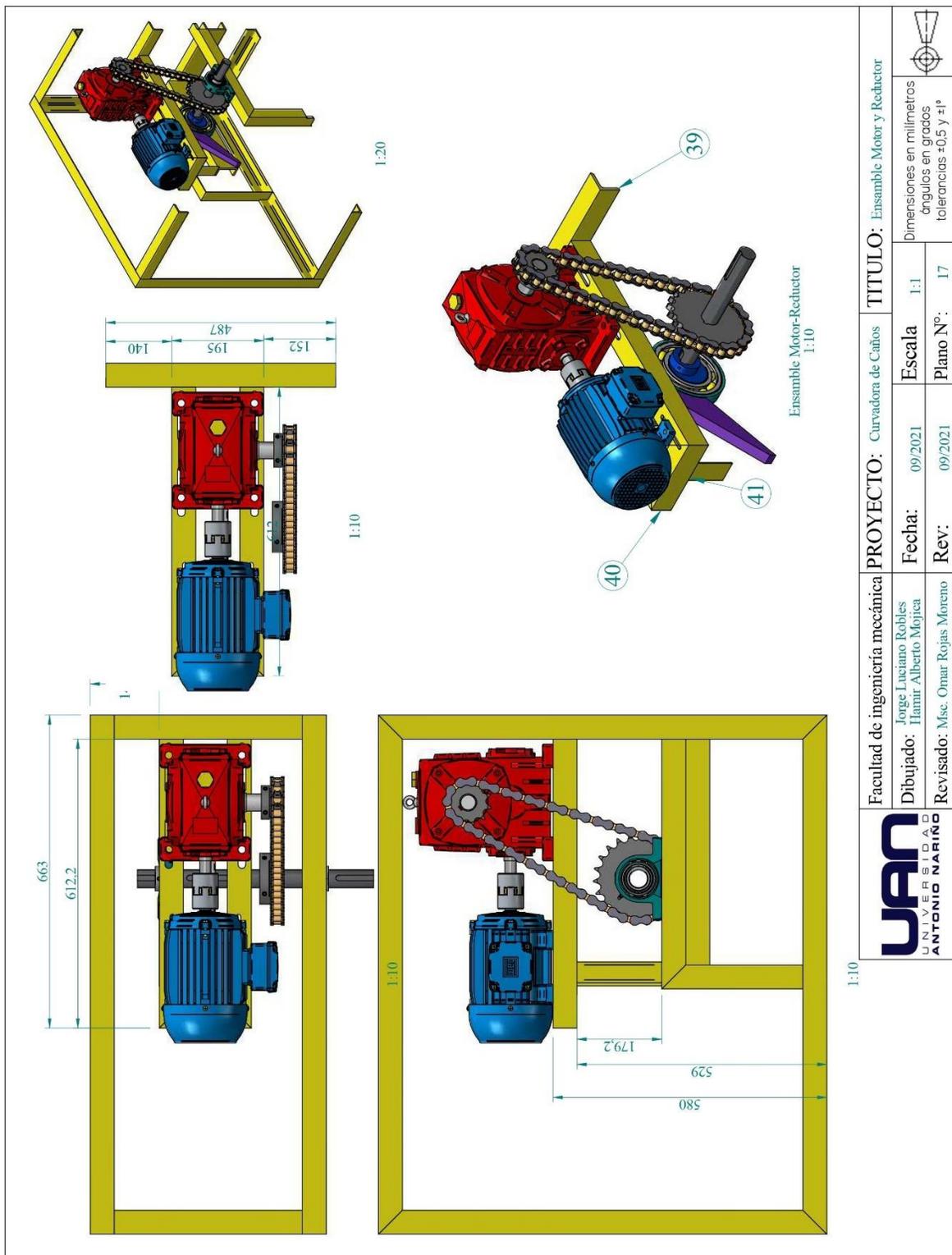


 <p>UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p>	Facultad de ingeniería mecánica		PROYECTO: Curvadora de Caños		TITULO: Placa eslabon MC	
	Dibujado: Jorge Luciano Robles Hiamir Alberto Mójica	Fecha: 09/2021	Escala 1:1	Dimensiones en milímetros ángulos en grados tolerancias +0.5 y ±1°		
Revisado: Msc. Omar Rojas Moreno	Rev: 09/2021	Plano N°: 15				

Anexo 17: ensamble Biela 01 y 02 MC



Anexo 18: ensamble motorreductor y sistema de transmisión



Anexo 19: manual de operaciones y mantenimiento

Lea detenidamente este manual de operación y mantenimiento antes de poner en funcionamiento y marcha la máquina dobladora de tubos

Manual de operaciones

Requisitos especiales que debe tener en cuenta el operario para manipular la máquina

- Leer el manual de operación
- Recibir capacitación de funcionamiento de la máquina
- Hacer uso de los elementos de seguridad y protección
- Identificar cada uno de los componentes que conforman la máquina
- Tener presente la ubicación de paro de emergencia de la máquina

Operación

- Al momento de arranque mantener el espacio libre de objetos que puedan bloquear la máquina
- Limpiar y lubricar las partes móviles de la máquina
- Energizar la máquina a la red eléctrica de 220V
- Recuerde cambiar las mordazas según el diámetro tubo a doblar
- Colocar el tubo a doblar sobre la guía lineal de la máquina
- Presionar el botón de arranque de la máquina para poner en marcha la máquina
- Terminado el proceso de doblez, retire la curva e ingrese el siguiente y repita el mismo proceso
- En caso de emergencia se debe presionar el botón de emergencia

Precauciones

- Utilizar los elementos de seguridad en el trabajo
- Solo el personal capacitado debe manipular la dobladora
- Tener en cuenta cada una de las recomendaciones sugeridas
- Hacer una inspección de los componentes de la máquina que se encuentren en buen estado
- Se recomienda que el operario no tenga contacto con la máquina en operación, si es necesario se debe utilizar el botón de parada

Manual de mantenimiento

- Cada 45 días trabajados de la máquina se debe engrasar los rodamiento o cojinetes del eje principal del sistema de transmisión, limpiar la guía lineal del sistema de desplazamiento
- Una vez a la semana se debe limpiar y lubricar las partes móviles del mecanismo
- Se recomienda conservar en buen estado la máquina, por lo que se debe inspeccionar diariamente donde se verifique el funcionamiento de los componentes, mecánicos eléctricos y de control, al igual que revisión de cables del sistema eléctrico. Así que de detectar daños en algunos componentes estos deben de ser cambiados antes de poner en funcionamiento la máquina.

Referencias Bibliográficas

- [1] J. I. García, *Fundamentos del diseño mecánico*. Universidad del Valle, 2004.
- [2] H. Ilie, "Máquina casera para sistema de canalón corrugado," 2018.
- [3] Evolutioner, "Electric elbow making machine," *Catalog of sheet metal working machines*, Consultado el 18 de agosto de 2020, 2020.
- [4] "Riesgos laborales," *Canales sectoriales - Interempresas*, Accedido may 27, 2020
- [5] S. T. Delgado-Ruiz, "Prospectiva Laboral para el Sector Metalmeccánico en Boyacá," *Ingenio Magno*, vol. 5, no. 1, Consultado el 16 de junio de 2020, pp. 137-145, 2015.
- [6] R. L. Mott, *Diseño de Elementos de Maquinas-Con 1 CD - Consultado el 16 de junio de 2021*. Pearson educación, 2006.
- [7] M. M. Gómez and J. Z. Suárez, "Evaluación de los riesgos psicosociales en una empresa metalmeccánica," *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 3, no. 11, Consultado el 16 de junio de 2020, pp. 39-48, 2013.
- [8] C. R. i Romeva, *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica, 2010.
- [9] P. Childs, *Mechanical design*. Elsevier, 2003.
- [10] "Cómo doblar acero inoxidable," *Área académica de metalurgia*, Consultado el 23 de octubre de 2020, 2020.
- [11] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación, 1997.
- [12] J. A. Schey and J. León Cárdenas, *Procesos de manufactura*. 2002.
- [13] FCyT, "Capítulo III: Formado de Metales y Trabajo con Lámina Metálica," *Facultad de Ciencia y Tecnología - Universidad Mayor de San Simón - Bolivia*, Consultado el 10 de junio de 2021, 2012.
- [14] J. C. Mamani, "Corte y doblado de tubos - SIDERPERU," *SIDERPERU*, Consultado en Noviembre de 2021, 2021.
- [15] "Curvadora de perfiles 3 rodillos," *MG SRL*, Consultado el 21 de septiembre de 2020, 2018.
- [16] E. Santos De la Cruz and V. Pérez Quispe, "Dobladora de tubos," 2011.
- [17] J. E. Shigley, C. R. Mischke, F. P. Bocanegra, and C. O. Correa, "Diseño en ingeniería mecánica," 1990.
- [18] G. J. A. J. G. B. J. J. L. P. G. S. M. B. V. L. Jonathan, "Fabricación de una dobladora de tubos de acero en SolidWorks," *Universidad Nacional del Santa*, Consultado en <https://es.scribd.com/document/377571519/Dobladora-de-Tubo-de-Acero>, 2017.
- [19] E. s.a.r.l, "Curvadora de perfiles Ercolina CE40MR3," *EXA_pro*, Consultado en: <https://www.exapro.es/ercolina-ce40mr3-p90326125/>, 2004-2021.
- [20] M. I. Laura Mamani and D. U. Yunganina Zea, "Diseño e implementación de un sistema asistido por plc para la automatización de una dobladora de tubos y supervisado por un sistema Scada," 2013.
- [21] G. M. Company, "Elbow machine models - Model 300," Consultado el 18 de agosto de 2021, 2021.
- [22] L. S. Enterprises, "Electric and manual elbow," Consultado el 19 de agosto de 2021, 2019.
- [23] C. Machines, "BDM 120/250 Elbow Machine (Boru Dirsek Makinası)," 2020.

- [24] ISO, "ISO 8491:1998 — Metallic materials — Tube (in full section) — Bend test," *International Organization of Standardization*, Consultado en: <https://www.iso.org/standard/30444.html>, 1998.
- [25] U. d. A.-. UdeA, "ASME B314," *ASTM / ASME*, 2019.
- [26] ICONTEC, "NTC 1560 "Tubos de acero al carbono laminados en caliente soldados por resistencia eléctrica para uso general"," *NTC (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA)*, Consultado el 27 de mayo de 2020, 2007.
- [27] stlebe, "Norma NTC 3353," *ICONTEC*, 2017.
- [28] ICONTEC, "Normas técnicas (NTC)," *Tienda virtual icontec*, Consultado en: tienda.icontec.org.
- [29] "Propiedades del acero usado en laminado en frío," vol. Cap. 2, Consultado el 19 de agosto de 2021, 2021.
- [30] "Tubos de acero galvanizados," *Materiales Los Andes*, Consultado el 3 de abril de 2020, 2021.
- [31] H. Parker, J. Ambrose, and R. A. Juárez, "Diseño simplificado de estructuras de madera," *Limusa-Wesley*, 1972.
- [32] I. Martin Sprocket & Gear, "El gran catálogo 4000," p. 368.
- [33] CGA, "SAE 1020 y SAE 1045 - Aceros ingeniería al carbono," *Cia. General de Aceros S.A*, Consultado en: www.cga.com.co.