



Diseño y simulación de una máquina dobladora de tubo redondo de 1-1/2 '' para el taller Hierros Gama del Municipio de Palermo.

LUIS SEBASTIAN GOMAJOA CORTES

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

Diseño y simulación de una máquina dobladora de tubo redondo de 1-½ '' para el taller Hierros Gama del Municipio de Palermo.

LUIS SEBASTIAN GOMAJOA CORTES

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

Director (a):
Ingeniero Mecánico Karel Joel Arencibia Ávila. PhD

Línea de Investigación:
Materiales y diseño mecánico.

Universidad Antonio Nariño – Sede Buganviles.
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva/Huila, Colombia

2021

Dedicatoria

Dedico esta tesis a DIOS, y a la Virgen María, que le dieron una tranquilidad a mi alma para la conclusión de esta tesis. A mis padres quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos. A mi hermano por su apoyo de seguir adelante. A mis compañeros de la universidad, a mis maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera podido hacer esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y familiares por brindarme su apoyo incondicional, por motivarme a seguir estudiando y poder alcanzar una meta que marcara un camino de nuestras vidas. A nuestros docentes ya que gracias a la ayuda de todos ellos pudimos culminar un logro más.

Resumen

Una de las problemáticas, a la que se presenta en los talleres de ornamentación en el municipio de Palermo, Huila, es la inexistencia de una máquina dobladora de tubo para desarrollar y construir estructuras que requieren curvas, fundamentalmente de tubos de una pulgada y media (1 ½ “), muy utilizados y demandados en la elaboración de diferentes productos, y así brindar mayor calidad en los servicios al cliente.

En el proyecto de grado, se presenta el diseño de una máquina dobladora de tubo de una pulgada y media (1 ½ “). Se utiliza el método histórico lógico para el estudio del arte, el método de inducción deducción para el análisis de la información y el de análisis y síntesis para determinar los factores claves del estudio.

Se definió como criterios de diseño el tamaño de la máquina (Altura 630 mm, ancho 550 mm, largo 1200 mm), diámetro de la matriz de doblado (240 mm), contemplando un factor de curvatura 2.5 y una potencia de doblado de 3, 93 Hp.

Se comprobó por medio de la simulación que el tubo de pulgada y media se puede deformar con una carga de 123472.06 N, logrando una pendiente máxima de 3,4 mm en el extremo del tubo. El diseño de la máquina trabaja con un ángulo máximo de 45° para ejercer el doblado, en dos segundos para la primera deformación y se complementa con el uso de un gato hidráulico de cinco toneladas para elevar 5 mm para ajustar el tubo.

Palabras clave: Curvadora, dobladora, radio de curvatura, limite elástico y sistema hidráulico.

Abstract

One of the problems, which is presented in the ornamentation workshops in the municipality of Palermo, Huila, is the lack of a tube bending machine to develop and build structures that require bends, mainly of one and a half inch tubes (1 ½ "), widely used and demanded in the development of different products, and thus provide higher quality services to the customer.

In the degree project, the design of a one and a half inch (1 ½ ") tube bending machine is presented. The historical-logical method is used for the study of the art, the induction-deduction method for the analysis of the information and the analysis and synthesis method to determine the key factors of the study.

The design criteria were defined as the size of the machine (height 630 mm, width 550 mm, length 1200 mm), diameter of the bending die (240 mm), contemplating a bending factor 2.5 and a bending power of 3, 93 Hp.

It was verified by means of simulation that the one and a half inch tube can be deformed with a load of 123472.06 N, achieving a maximum slope of 3.4 mm at the end of the tube. The machine design works with a maximum angle of 45° to exert the bend, in two seconds for the first deformation and is complemented by the use of a five-ton hydraulic jack to lift 5 mm to adjust the tube.

Keywords: Bender, bending machine, bending limit, yield strength and hydraulic system.

Contenido.

	Pág.
Resumen	XI
Abstract	XII
Lista de Figuras	XV
Lista de tablas	XVII
Lista de símbolos	XVIII
Introducción	1
Objetivo General	4
1. Capítulo I. Marco de referencia	7
1.1 Marco de antecedentes.....	7
1.1.1 El sector metalmecánico a nivel de Colombia.....	7
1.1.2 Diseños de dobladoras para tubo a nivel de Colombia.....	8
1.1.3 Análisis de modelos nacionales.....	15
1.1.4 Mecanismos de doblado a nivel internacional.....	18
1.2 Marco teórico.....	24
1.2.1 Tipos de doblado.....	24
1.2.2 Curvado de pistón.....	24
1.2.3 Curvado por tracción rotativa.....	25
1.2.4 Curvado de rodillos.....	26
1.2.5 Flexión de tubos.....	27
1.2.6 Elementos para el doblado.....	28
1.2.7 Hallazgos en el doblado.....	32
2. Capítulo II. Cálculo de diseño y simulación de la dobladora de tubo .	37
2.1 Características de los modelos para doblar tubo a nivel nacionales.	37
2.2 Requisitos funcionales de la máquina dobladora de tubo de 1 ½".	38
2.3 Estructura funcional de la máquina dobladora de tubo de 1 ½".....	39
2.4 Propuestas morfológicas de diseño.....	39
2.5 Selección de alternativa de diseño.....	42
2.6 Variables de diseño.....	42
2.7 Radio de curvatura mínimo.....	43
2.8 Características iniciales del tubo.....	44
2.9 Fuerza que recibe la matriz móvil (Dado doblador).....	46
2.10 Vueltas requeridas para doblar el tubo.....	49
2.11 Cálculos para el motor.....	51
2.12 Cálculo de la potencia del motor.....	52
2.13 Selección del rpm del motor y el número de escalones.....	53
2.14 Plano del circuito eléctrico para el sistema eléctrico del diseño.....	53

2.15	Cálculo de la frecuencia de giro y distribución de transmisión	54
2.16	Selección de componentes de la máquina.....	55
3.	Capítulo III. Análisis de los principales resultados.	57
3.1	Resultado al objetivo 1.....	57
3.1.1	Análisis modelos Nacional e Internacional	57
3.1.2	Bases aprovechadas a nivel internacional en el diseño.....	58
3.2	Resultado a objetivo 2.....	59
3.2.1	Modelo final del diseño propuesto.....	59
3.3	Resultado al objetivo 3.....	61
3.4	Resultado al objetivo 4.....	61
4.	Conclusiones.	63
5.	Bibliografía.....	65
6.	Anexos.....	69
6.1	Anexo. Tabla comparativa de modelos nacionales.....	70
6.2	Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.....	71
6.3	Anexo. Selección del rpm del motor y el número de escalones	72
6.3.1	Prueba con 900 rpm.....	72
6.3.2	Prueba con 1800 rpm.....	73
6.3.3	Prueba con 3600 rpm.....	74
6.3.4	Selección del motor por plataforma WEG.....	74
6.4	Anexo. Relación de transmisión.....	77
6.5	Anexo. Selección de materiales para estructura.....	78
6.5.1	Análisis estático y selección de material para soporte móvil.....	78
6.5.2	Parales de matriz de doblado.....	81
6.6	Anexo. Tabla selección para angulo de acero L.....	86
6.7	Anexo. Propiedades de los aceros.....	87
6.8	Anexo. Tabla selección para perfil en C.....	88
6.9	Anexo. Geometrías y parámetros.....	89
6.9.1	Geometría de matriz de doblado.....	89
6.9.2	Posicionamiento del tubo	90
6.9.3	Sujeción del tubo de 1 ½".....	91
6.9.4	Criterio para estimar la altura de elevación de las matrices de apoyo.....	92
6.10	Anexo. Planos y Medidas generales.....	94
6.11	Anexo. Aplicación de cargas en el software de Diseño SolidWorks	96
6.12	Anexo. Cotización.....	98

Lista de Figuras.

	Pág.
Figura 1. 1 Doblado manual.	9
Figura 1. 2 Doblado por estiramiento.	10
Figura 1. 3 Doblado manual base.....	12
Figura 1. 4 Doblado hidráulico con programación de PLC.....	12
Figura 1. 5 Partes del diseño propuesto.	13
Figura 1. 6 Doblado con gato hidráulico.	14
Figura 1. 7 Patente 2588367 T3.....	18
Figura 1. 8 Patente 2588367 T3- doblado.	19
Figura 1. 9 Método Patente 2399067	20
Figura 1. 10 Modelo , Patente: ES2555703B1.....	20
Figura 1. 11 Modelo, Patente. Es- 2741531	22
Figura 1. 12. Modelo Patente 2745984.....	23
Figura 1. 13 Curvado de pistón.	25
Figura 1. 14 Curvado por tracción rotativa.....	25
Figura 1. 15 Curvado de rodillos.....	27
Figura 1. 16 Flexión de tubos.	28
Figura 1. 17 Matriz de flexión.	29
Figura 1. 18 Mandril	29
Figura 1. 19 Posición de mandril.	30
Figura 1. 20 Deformación por flexión en tubo.	34
Figura 1. 21 Deformación controlada por guías de sujeción.	35
Figura 2. 1 Alternativa 1	40

Figura 2. 2 Alternativa 2.....	40
Figura 2. 3 Alternativa 3.....	41
Figura 2. 4 Fuerza y momento en el doblado del tubo.	46
Figura 2. 5 Distancia para aplicar fuerza de doblado.	48
Figura 2. 6 Elevación para llegar a 45 ° de la matriz móvil.	50
Figura 2. 7 Circuito eléctrico.	54
Figura 3. 1 Modelo final 3D.....	59
Figura 3. 2 Diseño 3D- Vista isométrica.	59
Figura 3. 3 Piezas del conjunto.....	60
Figura 6. 1 Ingreso para seleccionar motor en pagina WEG.....	75
Figura 6. 2. Hoja de datos del motor seleccionado.....	76
Figura 6. 3 Vista lateral con las cargas P y F.....	78
Figura 6. 4 Distribución de cargas a un miembro lateral.....	79
Figura 6. 5 Ubicación de cargas en el punto A y B.....	81
Figura 6. 6 Diagrama estático para determinar las recciones de A y B.	81
Figura 6. 7 Valor de reacciones en A y B para definir paral con mayor carga.	83
Figura 6. 8 Distancia del paral.	84
Figura 6. 9 Matriz de extremos.....	89
Figura 6. 10 Matriz dado doblador.....	90
Figura 6. 11 Configuración de matrices de doblado.	90
Figura 6. 12 Alineación de las matrices para entrar el tubo.....	91
Figura 6. 13 Ejemplo a 90 grados.	92
Figura 6. 14 Distancia de pivote de la matriz móvil.	92
Figura 6. 15 Altura de elevación de la matriz móvil.....	93
Figura 6. 16 Aplicación de cargas.....	96
Figura 6. 17 Deformación máxima resultado por la carga aplicada.....	96
Figura 6. 18 Factor de seguridad para piezas en contacto con el tubo de 1 ½”...97	

Lista de tablas.

	Pág.
Tabla 1.1 Codos corrientes de doblado sin mandril	31
Tabla 2. 1 Selección de alternativas de diseño-	42
Tabla 2. 2 Tabla para determinar el número de pasadas para tubo de 1 metro. .	50
Tabla 2. 3 Tabla de eficiencias para elementos de transmisión.	52
Tabla 3. 1 Ejemplo- Promedio de trabajos acumulados en una semana.....	62
Tabla 6. 1 Rotación sincrónica.....	72
Tabla 6. 2 Cotización de partes.	98

Lista de símbolos.

Símbolo	Término	Unidad SI
<i>d</i>	Diámetro	mm
<i>E</i>	Modulo elástico	<i>GPa</i>
<i>F</i>	Fuerza	N
<i>G</i>	Gravedad	$\frac{m}{s^2}$
<i>M</i>	Masa	Kg
<i>M</i>	Momento	<i>N.mm</i>
<i>P</i>	Potencia	W
<i>V</i>	Velocidad	$\frac{m}{s}$
<i>ϑ</i>	Volumen	m^3

Introducción.

El sector metalmecánico a nivel nacional, es un campo de la industria que ha sido fomentador de empleo, generando interés en países como Ecuador y Estados Unidos para la exportación de partes metálicas, llegando al punto de ser uno de los países que colabora actualmente para el desarrollo de piezas aeroespaciales de la empresa Airbus. (Lesmes, 2018). De igual el sector nacional existen departamentos como Bogotá y Manizales que parte de su economía e basa en la industria metalmecánica, debido a la generación de productos derivados del metal, ayudando a otros sectores como es el automotriz y la construcción, (Valencia & Escobar, 2014).

Ahora desde el departamento del Huila, su impacto económico es muy bajo, debido a los pocas empresas y talleres existente, ya que hace parte del 11 % del grupo industrial según datos de la alcaldía de Neiva. (AlcaldiaNeiva, 2021). Parte de esta economía se encuentra Palermo. Municipio que en conjunto con su taller de ornamentación han logrado brindar diferentes servicios metalmecánicos. De lo anterior, el Taller Hierros Gamma ofrece servicios para: Portones, Puertas, soportes para techo, rejas, cubiertas para techo, escaleras circulares y en secciones, pasamanos para escaleras, herramientas básicas para construcción, barandas, pórticos y estructura para balcones. Para el taller en mención, ofrecer este tipo de servicio en algunos casos se ve afectado por peticiones de los clientes con la implementación de piezas curvas, petición que asume el taller debido a que es fuente de ingreso que no puede dejar pasar por alto. Al aceptar este tipo de trabajo se crea la necesidad de trasladarse hasta otra localidad con el fin de doblar las partes que se requieren con curvas, como lo son: Pasamanos, estructuras para balcones, soportes de techo y las escaleras circulares.

Ahora, al no contar con la máquina de doblado de tubo redondo de 1 ½", debe hacer toda una logística para desplazarse hasta la ciudad de Neiva para adquirir un servicio de doblado y pagar un precio entre los 15.000 COP hasta los 40.000 COP para doblar un tubo, llegando a gastar en promedio 712.000 \$ mensual. Además, se ocasiona lentitud y

complejidad para cumplir con las fechas de entrega con los clientes y crear una mala imagen del taller con los clientes. Con la necesidad de aportar una solución al problema del taller, se determinó un diseño de una máquina dobladora de tubo, en donde se indaga por medio de modelos nacionales, patentes y hallazgos en la formación de estructura curvas; que aportes se pueden aprovechar para una propuesta de diseño. En donde se revisó los diferentes diseños y construcción de dobladora de tubo a nivel nacional.

Dentro de las líneas de fabricación y conformado de piezas, el doblado de tubo es una base para dar a las diferentes estructuras una terminación con mayor estética y dar presentación al producto final; evitando la formación de arrugas .(Pipe Fabrication Institute Engineering Committee, 2012). A la vez, la Universidad de Medellín, a diferencia del modelo anterior se fundamentó para desarrollar un doblado de tubo con altos factores de seguridad entre los diez y treinta y siete; dando como resultado piezas robustas para soportar las cargas torsionales que ejercen para doblar un tubo.(Mejía, 2009). Se puede decir que Colombia y Países latinoamericanos han desarrollado pocas tecnologías con innovaciones para el doblado, a comparación de modelos europeos, como el desarrollado en Italia que incluyó un sistema electrónico y neumático con alto nivel de precisión, sin requerir más de una pasada para lograr el doblado, por otra parte, este tipo de tecnología ya cuenta con mandriles personalizados para diferentes tipos de tubo. (Del Fabro, 2012).

A diferencia del modelo básico que realizó la universidad de los Andes, un modelo de doblado de tubo manual de tipo cuatro barras ajustables según sea el ángulo, evitando el uso de elementos externos y ser usado a la fuerza por parte de un operario.(Groover, 1999). Además, la Universidad Santiago de Cali, en vista de mejorar la forma de operar dichos mecanismos para realizar curvas, y en donde interviene más de una persona, han diseñado un modelo el cual pueda usarse con un solo operario, dando uso a sistemas electrónicos e hidráulicos de manera controlada, con fin de disminuir un riesgo físico. (Brand, 2018).

Actualmente el doblado se realizaba por medio de matrices con la geometría radial del tubo sin considerar el radio de curvatura, de donde se ejercía una presión por medio de prensa, la cual ejercía un pequeño doble guiado por varias personas, en donde una manivela arrastra el tubo dándole una curvatura; luego de varias pasadas se podría obtener un tubo doblado con características no deseadas como lo son, tubo con arrugas,

tubo sin paralelismo, tubo agrietado en curva, tubo aplanado. Es así, que se considera de mucha importancia el doblado de tubo, debido a que pueden aplicar diferentes tecnologías, como el doblado por pistón hidráulico, doblado con rodillos fijos, doblado con sistema hidráulico programados en PLC, doblado con gato hidráulico.

Con el fin de dar una alternativa de diseño, se consideró características halladas por medio de modelos nacionales, hallazgos en el doblado de tubo provenientes de artículos científicos. Se planteó tres modelos morfológicos de la máquina, siendo evaluados por el método de matriz de Pugh (R. González, 2012); en la cual se aprobó la alternativa 3. Para dicha alternativa se contempló los requerimientos por parte del taller hierros Gamma, como lo son: Uso de motor como elemento tracción, dimensiones de la máquina, velocidad de giro de la matriz de doblado, costos esperados de los elementos que conformarían el diseño final. De donde se logró un diseño de una máquina dobladora de tubo de 1 ½", Se permitió deformar un tubo de 1 metro de longitud hasta los 45° en un tiempo de 35 segundos, con siete pasadas sobre la matriz de doblado, ya que se manejó un control de pendiente de 5 mm.

El diseño de máquina se cotizó según sus componentes en un valor de 4`228.500 \$, a la vez se comparó con lo que actualmente se gastó el taller en un mes de trabajo, realizando traslados hasta la ciudad de Neiva a un costo de promedio de 712.000 \$, valor que, si se llegará a construir por parte del taller, se recupera en un año. Ya que dejaría de asumir gastos en traslado, evitar el uso de transporte, enviar un operario y como meta del taller hacer entregas puntuales a los clientes; disminuyendo tiempo en los trabajos realizados. Adicional al servicio que ofrece el taller, podrá ofrecer sus servicios en el municipio de Palermo.

Objetivo General.

Diseñar y simular máquina dobladora de tubo redondo de 1 ½" calibre 16 que permita realizar curvas entre 0 a 45 grados para el taller Hierros Gama.

Objetivos específicos.

1. Analizar los sistemas de doblado en tubo a nivel nacional e internacional.
2. Diseñar una máquina dobladora de tubo redondo de 1 ½" para ángulos de 0 a 45 grados.
3. Simular por elementos finitos el comportamiento de doblado de tubo redondo 1 ½".
4. Elaborar tabla de costos de los materiales para el diseño.

Justificación.

El presente proyecto se realizó argumentado de las siguientes justificaciones, de traslado:

Debido a que no existe una máquina dobladora de tubo de 1 ½ “para el taller Hierros Gamma y se debe realizar un traslado de pedidos acumulados de piezas a doblar hasta esta localidad de Neiva. En donde se genera costos por traslado, tiempo adicional por parte del ornamentador, demora en la entrega y acumular trabajos similares; para justificar el traslado hasta la Neiva. El diseño de la máquina se planteó, para que el taller evite traslados y de al público un servicio a un valor menor, se demore menos en la entrega y ofrecer en el municipio de Palermo el doblado de tubo.

Además, se ha presentado dificultad para tratar el doblado de tubo y por parte del talento colombiano de diferentes universidades se ha logrado dar soluciones similares por medio de temas de investigación en tesis, la cual sirvió para analizar diferentes modelos y proponer alternativas de una propuesta de diseño. A la vez, se considera la importancia de diferentes alternativas para tratar el doblado de tubo, empleando variación de mecanismo de accionamiento en patentes internacionales.

Al demostrar por parte del cálculo teórico y teorías de diseño; que el tubo de 1 ½ “se puede deformar, si se considera los siguientes parámetros de diseño, como lo son: Potencia de doblado, selección de materiales, radios de curvatura. De lo anterior, dichos datos se pueden analizar por simulación en software de diseño SolidWorks; con el fin de comparar resultados.

Partiendo con un diseño final, se permite considerar que elementos se requieren para el doblado y realizar una tabla de costos de sus componentes para una futura construcción. Con la tabla de costos se espera llegar a un valor similar a los encontrados en las tesis de investigación que se realizaron a nivel nacional con el fin de demostrar al taller que es viable realizar la construcción del diseño propuesto.

Por otra parte, al desarrollar la tesis de investigación permitirá al taller Hieros Gamma tener una base de un diseño de la máquina, que al momento de construirla le permitirá al ornamentador trabajar de manera segura ya que no estará realizando esfuerzos físicos que puedan generar una lesión por su operación.

Metodología

A continuación, se describe la metodología empleada para la ejecución durante el desarrollo del estudio: Se utiliza el método histórico lógico para el estudio del arte, se determina características a tener en cuenta para la propuesta de diseño. se establece estructura funcional de la máquina, se plantea modelos morfológicos de la máquina para ser evaluados por el método matriz de Pugh, se realiza cálculo teórico para determinar la carga máxima para la deformación del tubo y los resultados se comparan por medio del Software SolidWorks, se brindan a continuación, de manera detallada, las distintas fases de la investigación:

Fase de conocimiento

- Analizar cómo es él es sector metalmecánico a nivel nacional.
- Analizar las características de los modelos desarrollados a nivel nacional.
- Revisar mecanismos empleados en patentes a nivel internacional.
- Revisar en artículos científicos que hallazgos hay sobre el doblado del tubo

Fase de análisis

- Analizar por medio de una tabla comparativa los modelos nacionales.
- Analizar qué elementos se usan en patentes internacionales.

Fase de evaluación

- Establecer estructura funcional para la máquina dobladora.
- Plantear modelos morfológicos de la máquina dobladora.
- Seleccionar por método matriz de Pugh las propuestas de diseño.
- Determinar por cálculo y Simulación el doblado de tubo de 1 ½.
- Determinar y seleccionar materiales para el diseño propuesto.

Fase de resultados

- Comparar resultados del cálculo teórico con el uso del software de simulación en SolidWorks.
- Analizar cuantas pasadas se requieren para lograr un doblado desde los 0 grados a 45 grados.
- Elaborar tabla de costos para una futura construcción, resaltado el aporte que se hace para el taller Hierros Gamma.

1. Capítulo I. Marco de referencia.

1.1 Marco de antecedentes.

A continuación, se realizó una descripción del sector metalmecánico a nivel nacional, tesis con sus características según el modelo de dobladora de tubo a nivel nacional, hallazgos encontrados al doblar tubo y mecanismos empleados por diferentes patentes a nivel internacional.

1.1.1 El sector metalmecánico a nivel de Colombia.

El gran crecimiento en infraestructura a nivel nacional ha permitido que la mayoría de departamentos de Colombia, se desarrolle empresas y talleres que presten el servicio de metalmecánica, en donde algunos cuentan con una gran infraestructura, herramientas y equipos. Otros deban acudir a tomar servicios entre el mismo gremio. Partiendo de este tipo de servicio que se prestó en cuanto al manejo del metal, se han generado 545.000 empleos, de los cuales la industria metalmecánica da 133.458 empleos (24% del empleo industrial) y se incluye la industria automotriz (13.912 empleos, es decir, el 2,5%). (CCB, 2015). A la vez, el sector metalmecánico ha logrado ser uno de las productivos, según lo afirmó Lesmes, por medio de Fedemetal. Adicionalmente Colombia ha llegado a exportar productos a Ecuador y Estados Unidos. (Lesmes, 2018). La calidad de los productos generados ha llamado la atención de empresas aeroespaciales como Airbus, llegando a solicitar piezas para el desarrollo de sus máquinas.

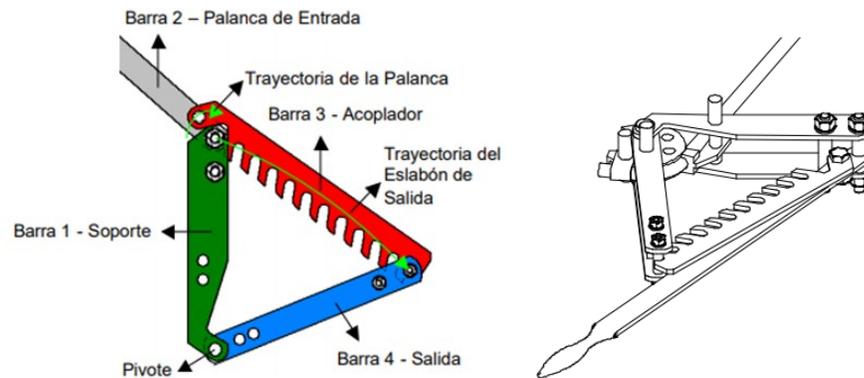
Uno de los departamentos que ha logrado desarrollar su economía con ayuda del este sector, ha sido Manizales; con diferentes áreas de trabajo como lo son :Automóvil, Aeronáutico, Industria de la construcción, Ferroviario, Nucleario, Equipos eléctricos y electrónicos, Armamento, Mecánica, Energía, Química, Construcción naval, Embalaje, Electrodomésticos según el informe generado para el año 2017 por la alcaldía de Manizales.(Valencia & Escobar, 2014). Así mismo, el Huila, con una participación pequeña en la economía del Departamento, el sector metalmecánico está dentro del 11 %, de la economía, aunque es algo bajo, se puede decir que se puede aprovechar para explotar la línea de valores agregado al metal.(AlcaldiaNeiva, 2021)

1.1.2 Diseños de dobladoras para tubo a nivel de Colombia.

Modelo 1. Método extrusión manual.

Para el año 2003, la Universidad de los Andes por medio del proyecto desarrollado por Wilches Edgar, se planteó un modelo tipo rotatorio o extrusión debido a su acabado final en piezas dobladas por su acabado superficial y estructural. Para el diseño se manejó tubo de ¾ de pulgada con un espesor de 2,48 mm de material ASTM 500 grado C, en donde las partes principales de contacto con el tubo se diseñaron con acero 4140 y el resto de acero 1040 y 1045 logrando factores de seguridad entre los 51,45 para pernos, 7.5 para eslabones , y 6.5 e pasadores y separadores(Groover, 1999).

El cambio de material de un acero 4140 al más bajo de 1040 se debe a su resistencia a la fluencia y flexión permitiendo un mejor agarre en las piezas que ejercer el doblado y las que sujetan el tubo. El modelo que se diseñó se muestra a continuación como un sistema cuatro barras, que puede ser modificado en sus apoyos debido a las ranuras para graduar uno de los eslabones móviles:

Figura 1. 1 Doblado manual.

Fuente: Diseño y construcción de una dobladora de tubo.

Del modelo (**Figura 1.1**) y según los criterios finales del autor, se destacó sus recomendaciones para el modelo en los siguientes aspectos (Groover, 1999):

- Todas las piezas que sujetan las piezas como las que estiran el tubo deben estar completamente alineadas para conservar una deformación del tubo pareja y uniforme, ya que al doblar excesivamente se puede romper el material o doblar excesivamente el material.
- En los dados de presión y de doblado se recomendó usar un dado con menor resistencia a la flexión.
- Mantener las piezas bien lubricadas y evitar dobleces mayores al de 180° ya que el superar este ángulo no se podrá liberar el tubo de la máquina y se debe desarmar la dobladora para retirar el tubo.
- Se debe realizar un doblado lento y de manera controlada en todo el proceso de curvado del tubo.

Del modelo se resaltó la importancia que tiene el dejar ranuras para graduar a los grados posibles que se puede llegar con este mecanismo cuatro barras, por otro lado, es una herramienta útil para doblar tubo con diámetros menores a $\frac{3}{4}$ "debido a que estos deben aplicarse una fuerza mínima de doblado como lo es de 6 kilos.

En comparación de esta máquina al diseño de propuesta de la tesis, este modelo no usó un torque o momento constante y puede ser motivo que el diámetro del tubo

doblado no quede uniforme, en el caso del diseño propuesto se usó un motor que transmite constantemente una potencia cerca de los 4 Hp. Con el anterior modelo se diferencia del proyecto en cuanto al tubo de estudio se usó uno de mayor diámetro, ya que el diámetro de 1 ½ "es mucho más grande que analizado por Uribe para su tesis, en donde uso un tubo de ¾", Con el resultado de la investigación se puede aplicar una carga de 6 kilos para doblar dicho tubo, en comparación al tubo de 1 ½" en la practica una sola persona no podrá doblar el tubo. Este tipo de tesis considero valores muy pequeños de cargas para el doblado; con valores de 800N. Además la distancia 5 cm que se usa al punto de pivote es demasiado corta (Groover, 1999), al compararlo con el diseño planteado con un valor de 134 mm. Si es interesante que se logró construir una dobladora manual a un costo de 293.300 COP, al comparar este valor con el diseño propuesto, los incrementos son altos al emplear un motor, la caja reductora y otros accesorios llegan a un valor de 4`228.500 \$.

Modelo 2. Doblado por estiramiento

Para el 2009, en la Universidad de Medellín, se desarrolló por medio de Mejía y Duque un modelo de dobladora hidráulica para tubo de acero estructural de 1 pulgada con un espesor de 2.5 mm. (Mejía, 2009). El cual se dobló tubería por el método de doblado por estiramiento. Para realizar el doblado se empleó materiales con alto factor de seguridad, como lo fue de 18 para horquillas, 20 para eslabones y los sujetadores un valor de 37, lo cual se puede apreciar en la **figura 1.2** siguiente en las piezas con volumen grande.

Figura 1. 2 Doblado por estiramiento.



Fuente: Diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubería redonda

De igual forma el diseño se calculó (**Figura 1.2**); bajo el principio de una viga empotrada en uno de sus extremos, como complemento en la unidad hidráulica se usó un motor trifásico a 220 v a 1 HP, con unos 1800 rpm y una bomba para el fluido hidráulico de 1 GPM. Para llevar a cabo el diseño se consideró las siguientes variables: Tamaño de las piezas, factor de seguridad y unidad hidráulica. A diferencia de este este diseño no se consideró variables importantes como lo son la potencia requerida en función del número de árboles, ya que todos los elementos con los que se genera movimiento crean pérdidas de potencia, a la vez, otra variable importante a considerar es la máxima pendiente ejercida por el tubo, valor que define si el momento realizado por el dado doblado es suficiente para deflectar el tubo. Cabe resaltar que el autor busco con geometrías gruesas, evitar que sus piezas fueran a fallar por fatiga o desgaste, y aumentar la vida útil de la máquina.

Este modelo contempló piezas grandes al factor de seguridad en la mayoría de sus piezas desde 7 hasta 37. No es recomendable usar valores de este nivel, ya que esto ocasiona a crear piezas robustas. A diferencia, en donde se presentó un diseño con piezas de fácil adquisición y fabricación, se evitó usar piezas a fundir debido a su costo. El diseño de este autor contemplo usar varias piezas por fundición como lo son soportes de sujeción y dados de doblados. Se presenta una diferencia en cuanto al precio con una diferencia aproximada de 300.000 \$ al costo de 4'500.000 \$.

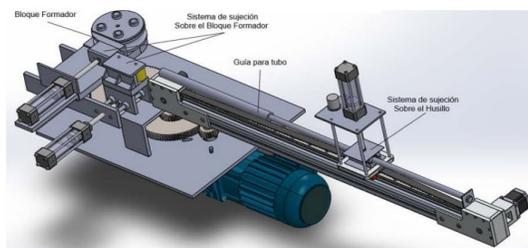
Modelo 3. Doblado hidráulico con programación de PLC

Ahora en el 2018, en la Universidad de Santiago de Cali, se diseñó un modelo que reemplazará la operación manual de dos o tres operarios según la **figura (Figura 1.3)**, ya que se aumentó el riesgo de una lesión física de los operadores en la empresa Coldidacticas.

Figura 1. 3 Doblado manual base.

Fuente: Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa coldidacticas Ltda.

De la investigación realizada se encontró que el doblado no era el adecuado debido a que la fuerza ejercida por los operarios no es constante, por lo tanto, se encontró variación en los modelos de doblado. Además, se buscó reducir el tiempo de operación que se encontraba entre los 30 a 40 segundos para el doblado, optimizándose con un diseño y programación en PLC (Brand, 2018). Dicha programación en PLC llevó a cabo la entrada del tubo, censada para sujetar y desplazar el tubo hasta la zona de doblado y luego soltar el tubo doblado. El tubo de doblado tenía como diámetro mayor un valor de 38,1 mm con un espesor de 1.5mm del material ASTM A500, tubo usado en la mayoría de productos de la empresa. De donde se usó una potencia de 0,78 Hp, con una velocidad de 35 rpm para lograr unos dobles en 6 segundos. El diseño se logró desarrollar con un PLC que regulaba fuerza, velocidad, presión y fuerza del sistema. Para llevar a cabo el diseño se consideró las siguientes variables: velocidad de doblado, potencia del motor. Dando como resultado el siguiente modelo (**Figura 1.4**):

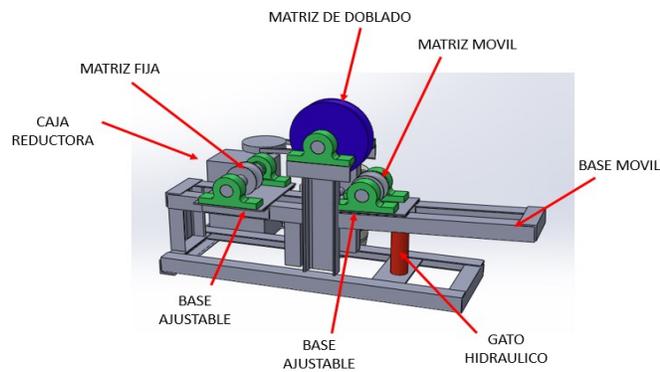
Figura 1. 4 Doblado hidráulico con programación de PLC.

Fuente: Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa coldidacticas Ltda.

Para lograr la construcción se realizó a un costo de 14'995.000 \$.

Al comparar el diseño de la Universidad de Santiago de Cali, no se usó mecanismos de control por PLC, debido al costo y falta de manejo en el tema por los componentes electrónicos, además este modelo presenta un tubo con diámetro de 38,1 mm menor al usado en el diseño de esta tesis. A la vez, En el diseño de Talleres Gamma se empleó un gato hidráulico para el control del doblado como se apreció en la **figura 1.5**, herramienta que reemplazó el uso de sistemas hidráulicos que propone Brand para su doblado hidráulico.

Figura 1. 5 Partes del diseño propuesto.



Fuente: Propia.

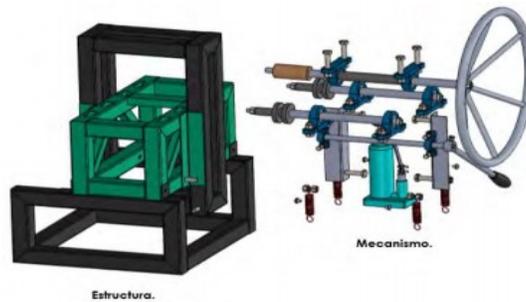
El diseño propuesto al compararlo con el modelo de Brand, se diferenció por reemplazar el riel fijo para tubo de la **figura 1.4**, se reemplazó por el uso de matrices con la forma del diámetro del tubo con el fin de darle estabilidad, además se disminuyó el material como se aprecia en la **figura 1.5**, debido al empleo de factor de seguridad menor a 2. Por otra parte, se usó una base ajustable, en el caso que el tubo sea largo.

Modelo 4. Dobladora de tubo por Gato Hidráulico.

Para el año 2018, Cuero Andrés de la Universidad Autónoma de Occidente, presentó un diseño para la empresa ACABADOS INDUSTRIALES SAS, de donde se

obtuvo un diseño con elementos propios de la empresa para desarrollar un modelo manual de doblado, logrando curvar tubo desde 1 ½ de pulgada hasta 3 pulgadas con fuerza mínima de 2839.79 N hasta 5679.58N(Cuero, 2018) . Para la construcción de la máquina se empleó materiales como el SAE 1045 con un factor de seguridad de 2 para el tubo de 1 pulgada, el modelo se muestra a continuación:

Figura 1. 6 Doblado con gato hidráulico.



Fuente: Diseño de un prototipo de curvadora de perfiles para la empresa estructuras metálicas acabados industriales S.A.S

Ahora el autor recomienda usar polipropileno con el fin de evitar el aplastamiento y o agrietamiento en el tubo. Para el doblado del tubo de la **figura** 1.6. se usó un gato hidráulico tipo botella con capacidad de 2 toneladas y logro deformar tubo de mayor diámetro de 3 pulgadas. No se usó sistema eléctrico, ni sistema neumático, solo el sistema hidráulico del gato. Para el desarrollo del proyecto se logró construir a un costo estimado de 1757.392 COP. El diseño propuesto mostro deformar un tubo de 3 pulgadas manualmente, de donde no se consideró la posibilidad de que el operario se pueda lastimar o lesionar por la fuerza que debe ejercer al doblar el tubo.

Modelo 5. Dobladora hidráulica tipo industrial

Para el año 2019, la Universidad de Antioquia se desarrolló un proyecto enfocado a dar una solución para una empresa que cuenta con equipos y herramientas para suplir sus necesidad pero les hace falta en sus procesos industriales una máquina para realizar doblado de tubo, es ahí , donde Bermúdez Daniel diseño una máquina hidráulica industrial con material y herramientas de la empresa FECON SAS (Zuluaga, 2019).

La urgencia de la máquina nace por la demora en los procesos por la falta de piezas dobladas entre los 30° y los 180° grados. de donde surge un diseño de una máquina hidráulica y con transmisión por torque tipo industrial. Con un tiempo para realizar una curva en tubo de 1.5 minutos por parte del operador. La máquina posee una bomba hidráulica que se ajusta a una velocidad de 0,011 m/s aplicando una fuerza de 15.729, 123 N para tubos entre 1 pulgada hasta 3 pulgadas con espesores de 2.5 mm. Dentro las piezas que ejercen la presión se usó Aisi 4140 para el eje con un factor de seguridad de 1.5, un motor para el torque de 1/2 de Hp a 110 voltios. Se desconoce el valor ya que sus componentes en el desarrollo de la máquina fueron provistos por la empresa.

1.1.3 Análisis de modelos nacionales

De la comparación de algunos modelos nacionales (ver ANEXO. 5), desde el año 2003 hasta el año 2019 se analizó unos ítems que son de interés para determinar qué aspectos son importantes para el desarrollo del diseño los cuales fueron:

Mecanismo de doblado

El tipo de mecanismo usados por las tesis elaboradas se contempló el uso de sistemas hidráulicos como se desarrolló por los modelos 2,3,4,5 y por parte de la máquina por el modelo 1(Uribe,2003), se contempló el uso de un mecanismo 4 barras ajustable, en donde se probó para tubo delgado de $\frac{3}{4}$ ". El diseño que se plantea para Taller Hierro Gamma es diferente a los modelos 1,2,3,4 y 5 debido a que entre sus componente se empleó una matriz sobre una estructura móvil, que ejerce la flexión del tubo, mediante el uso de un gato hidráulico de 5 toneladas; m similar al mecanismo empleado por el modelo 4 con el gato Hidráulico de 3 toneladas. (Cuero, 2018).

Tubo de doblado

Para los cinco modelos se analizó en tubo de aguas negras o de cerramiento, de un material tipo ASTM 500 grado C. Por otra parte, se destacó de la tesis del modelo 4 ya

que abarco varias pruebas para tubos desde los 1 ½" hasta el de 3", con la diferencia al analizado del taller Hierros gamma en solo un tubo de 1 ½" . El uso de tubo de 1 ½" manifiesta que a nivel nacional es indispensable, ya que para la industria del modelo 5 y modelo 4 dicho tubo se usa con frecuencia. Información útil para el taller de Palermo, ya que se podrá considerar una máquina que cuente con estas medidas de tubo (desde 1" hasta 3").

Variables de diseño

Se identificó para todos los modelos que la variable principal es la fuerza de doblado, que esta desde los 800 N para tubo de ¾" del modelo 1, hasta un valor de 15729N del modelo 5, la base del diseño que se propone cuanta con un valor de 6484,54 N; similar al valor hallado por los modelos 4(5679N) y modelo 2 (4087N). Otra variable similar entre los modelos es determinar la potencia que se requiere para el doblado, valores que oscilan desde los 0,78 Hp hasta la potencia del diseño de talleres Hierro gamma con un valor de 3,93 Hp; en donde es un valor alto debido al uso de una caja reductora, y las pérdidas de potencia por rodamiento, ejes y sistema de transmisión.

La diferencia de la propuesta de diseño es emplear una velocidad de giro de 30 rpm, un valor menor al usado por el modelo 3, que se observó como el diseño completo su control electrónico y sus pulsadores según el ángulo de trabajo. Otra diferencia a comparación de los modelos estudiados y es similar al modelo 4, es la variable que se usó para determinar la fuerza del gato hidráulico, ya que este por ser fácil de operar puede levantar grades cargas con solo accionar una palanca. El modelo 4 uso un gato de 3 toneladas y la propuesta de diseño se usó uno de 5 toneladas. El anterior mecanismo es un medio económico y generó una gran ayuda para el desarrollo del proyecto.

Requerimiento operativo

Con los diseños planteados por los modelos, el diseño de taller Hierros Gamma esta al mismo requerimiento operativo de los modelos 1 y 3, ya que una máquina de este tipo y su usó en ellos talleres debe ser de manejo para una sola persona, ya que mejora

en los tiempos operativos y disminuye el valor del de servicio. Por otra parte, se asegura que las condiciones de trabajo no exijan demasiadas cargas físicas, que no consideró el modelo 4 ya que se usaron diámetros desde 3 “, en donde el material requiere de una mayor carga para doblado.

Velocidad de doblado

El diseño de talleres hierro gamma es de tipo lento, ya que se debe considerar el control del doblado, y este se pueda visualizar con el fin de garantizar que el tubo logre su curva. Por otra parte, en el proceso lento garantiza activar el cambio de giro del motor, para retornar el tubo y generar curva en los tiempos de giro de motor. La velocidad de trabajo en el diseño de 30 rpm se calculó por medio de relaciones de velocidad, con el fin de garantiza los rpm requeridos; en donde se analizó el sistema de transmisión desde los 1800 rpm del motor.

Novedad del diseño

La propuesta de diseño consideró garantizar los rpm sin el uso de reguladores de velocidad, o emplear sistemas electrónicos como el modelo 2, modelo 3 y modelo 4. Se empleó un gato hidráulico de 5 toneladas; el cual permite al operario de manera controlada elevar la matriz móvil, el diseño tiene piezas ajustables como son los puntos de apoyo de las matrices fijas, ya que están tienen un diseño con carril ajustable con el fin de brindar al taller, ángulos con apertura más grande al generado a 45 °. El diseño cuenta con una estructura de diseño basado en piezas comerciales, en donde su estructura principal se armó con ángulo estructural basado en los cálculos.

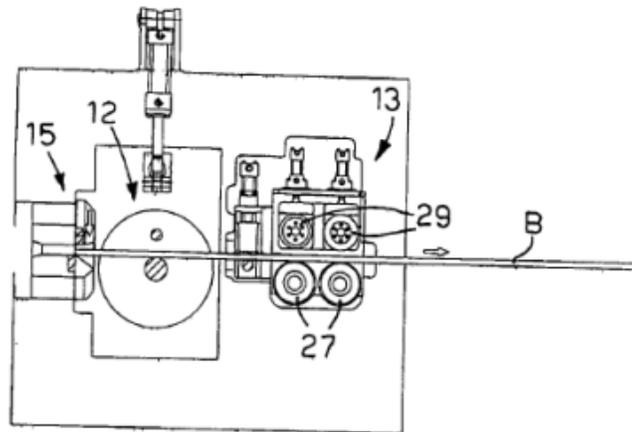
1.1.4 Mecanismos de doblado a nivel internacional.

A continuación, se analizó un grupo de patentes en donde se identificó elementos base para el diseño:

Mecanismo 1.: Patente 2588367 T3

En Italia , para el año 2012 se patentó por parte de Del Fabro , una máquina con un complejo sistema electrónico y neumático (ver **figura 1.7**), que cuenta con diferentes partes mecánicas que actúan en diferentes posiciones para ejercer el doblado de barras de metal, de donde consta de un dispositivo curvado redondo giratorio (20) que cuenta con una base llamada mandril giratorio respectivamente con un perno retráctil y un miembro constante a la forma que se desea según las partes (21 y 22)(Del Fabro, 2012) .

Figura 1. 7 Patente 2588367 T3

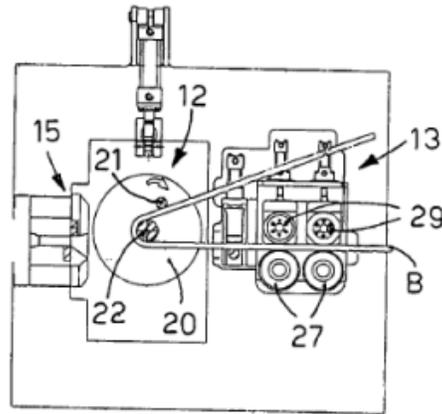


Fuente: Máquina curvadora para curvar barras de metal, tales como piezas redondas de refuerzo o similares

Ahora la máquina posee dos piezas numerales 27 (Ver **figura 1.8**), el cual permiten retroceder la barra B hacia adelante o hacia hasta el mandril 15 giratorio, para empezar a dar la curvatura se hace sujeción por las piezas 29, resaltando de este modelo las piezas 29 y 27 no deben poseer dimensiones iguales de la barra a doblar, solamente se hace

cambios en las piezas del curvado redondo giratorio. Dicha pieza puede regularse su movimiento por medio de sistema electrónico.

Figura 1. 8 Patente 2588367 T3- doblado.



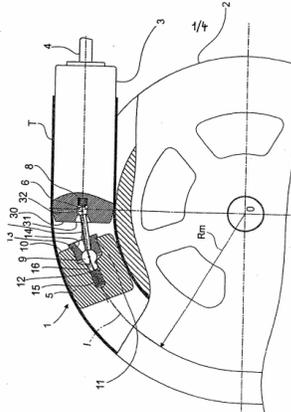
fi g. 7

Fuente: Máquina curvadora para curvar barras de metal, tales como piezas redondas de refuerzo o similares

Mecanismo 2: Patente 2399067

Similar a esta patente, para el año 2007 Caporusso, que ya había trabajado en el mandril y una estructura independiente, se patentó una parte del mandril; una pieza la cual es móvil y sigue la trayectoria de la curvatura del dado doblador, dicha pieza es totalmente articulada y no posee microcontroladores ya que posee un curvatura definida por un radio de base según el dado que realiza la flexión del tubo. (Caporusso, Alessandro, 2007).

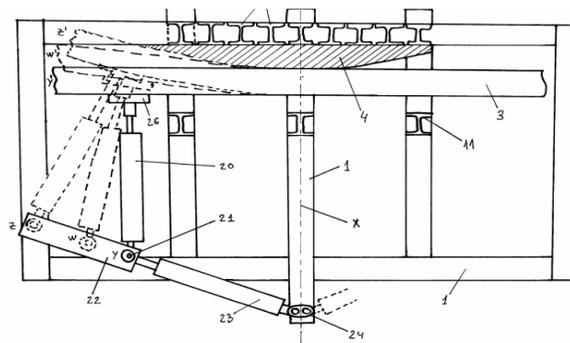
Para ello y como se muestra en la **figura 1.9**, se adaptó una pieza al final del mandril con el fin de proporcionar una deformación uniforme mientras el tubo se flexiona y luego intenta regresar unos grados debido a su elasticidad. Para evitar las arrugas se diseñó al final del mandril las piezas 5 y 6 con sus demás componentes.

Figura 1. 9 Método Patente 2399067

Fuente: Método para doblar un tubo utilizando una máquina dobladora de tubos que comprende un mandril.

Mecanismo 3. Patente: ES2555703B1

Para el año 2016, González desarrolló una patente el cual planteó un diseño con tres brazos neumáticos (ver **figura 1.10**), de donde se empleó una placa a compresión curva de acuerdo a la forma que se requiere según la pieza número 4, actuando como un sistema cuatro barras de donde uno de sus eslabones se deformó, otro es estático y fijo y los demás eslabones del cuatro barras son la extensión de los brazos 23 y 20(A. González, 2016).

Figura 1. 10 Modelo , Patente: ES2555703B1

Fuente: Máquina y método para curvado semicontinuo en frío de perfiles de baja ductilidad.

El método de curvado es del método de curvado en frío. semicontinuo, de donde el material se forma en función al radio de la curva establecida, por la placa a compresión. Cabe resaltar que este modelo está dado para diferentes perfiles ya que se puede modificar la placa de compresión.

La característica de estos cilindros prensos perpendiculares a la bancada se encuentra sujetos a las vigas del pórtico soporte y sujetando una placa de compresión paralela a la bancada para la compensación de los esfuerzos realizados en el perfil a curvar. Dichos cilindros prensos se incorporó sensores de medición de posición, carga, y proporcionar información de los parámetros de trabajo. Para la patente se usó una sola bomba hidráulica para mover los cilindros y por medio de los sensores se define el movimiento que cada uno posee para empujar el tubo y para realizar la deformación del mismo según el molde de la placa a compresión sin que ellos queden incrustados en la misma.

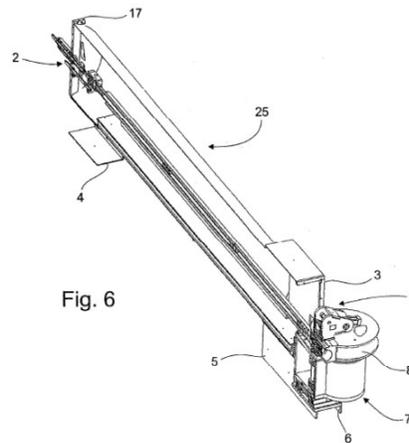
Mecanismo 4. Patente. Es- 2741531

En 2019, en Italia por medio de Alessandro Caporusso, se patentó un dobladura de tubo donde su mecanismo se realizaba por compresión a diferencia de las demás máquinas que se han hablado en el proyecto por flexión, de donde se usa una máquina con mandril el curvado, que en lo habitual toda máquina que emplea este sistema provoca que las tensiones que se efectúan sobre el tubo se desplazó de igual forma al resto de la máquina como lo es su estructura y que luego se disipa al suelo. Dichos esfuerzos se vuelven repetitivos lo cual provocó deformaciones elásticas sobre toda estructura de la máquina que a sujeta al suelo (Caporusso, 2019).

Para mitigar el problema anterior se diseñó una máquina con el mismo principio, pero a tensiones hacia al tubo en compresión. Invención que se hace ventajosa que todo el sistema de fuerzas comprimir el tubo y darle su curva están sobre una estructura portante del tubo y del dado que realiza la deformación según los ángulos deseados. Así ves se sujeta sobre una estructura que libre de sujeciones al suelo, la cual la hace práctica por

desplazamiento según la zona de trabajo. Dentro de la máquina se encontró un perfil que tiene en su interior el mandril que soportó el tubo, y pueda desplazarse sobre su eje según la siguiente **figura (Figura 1.17)**.

Figura 1. 11 Modelo, Patente. Es- 2741531



Fuente: Máquina curvadora de tubos con mandril de curvado que tiene una estructura portante especialmente resistente a las tensiones de trabajo.

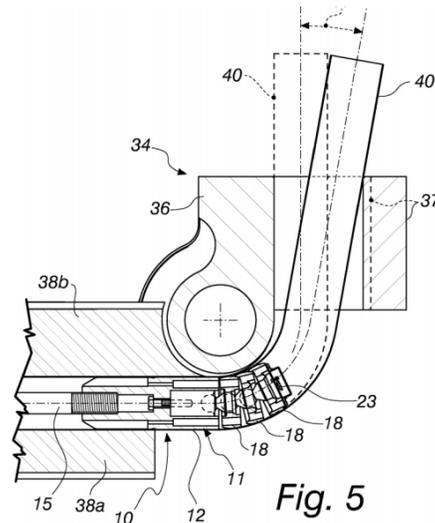
Las piezas 17- 25 y 5 corresponde a la estructura, 8 al dado que ejerce el doblado, 9 la prensa sobre el tubo y el mandril, y 2 el soporte para el mandril. De donde se puede apreciar que la zona que sujeta el tubo y dobla; están libre para su desplazamiento en un carril que permite moverse según la guía independiente.

Mecanismo 5. Patente 2745984

Para el año 2019 en Italia, por medio de Ghiotti Andrea, se desarrolló un aparato que brindó un mejor acabado a los tubos a los cuales se les hace su curvatura, ya que en la mayoría de máquinas que se diseñan, puede presentarse un pequeña corrugación del tubo en su curva debido a un exceso de fuerza, o por que las mordazas de sujeción no son las indicadas , y en la mayoría de sus casos se desconoce que para un doblado, y evitar estas arrugas; se debe tener en cuenta el radio de curvatura. Para mitigar este problema se diseñó un artefacto (ver **figura1.12**), el cual brinda desde el interior del tubo un apoyo

para evitar al momento de aplicar la fuerzas de doblado la aparición de arrugas con la implementación de una guía dentro del tubo flexible(Ghiotti, 2016). En esta patente se puede evidenciar como se acopló el instrumento en el mandril que se inserta al tubo.

Figura 1. 12. Modelo Patente 2745984



Fuente: Aparato para mejorar la calidad del doblado de tubos y método que usa ese aparato.

De la **figura** anterior los cuerpos 18, 23, 12 son flexibles al cuerpo 12, lo cual hace ser una guía rígida y se pueda ejercer el doblado sin que este material se retorne por su elasticidad. De donde algo importante que el autor afirmó.(Ghiotti, 2016). “Son una máquina de doblado de tubos, provista incluso de control numérico, es difícil de obtener el ángulo de 15 doblado establecido debido al hecho de que el material que se está procesando, el cual típicamente es metálico, tiene una elasticidad tal que cuando el producto doblado se libere de la máquina tiende a reintegrar parte de la deformación que se le impuso, en donde se provocó el retorno elástico.”

Por otra parte, este mecanismo se hace costoso en su aplicación ya que debe poseer un sensor y micro controladores para realizar dicha acción para irse ajustando al mandril mientras este se somete a flexión y se curva el tubo.

Análisis de los mecanismos internacionales.

De los cinco mecanismos mencionados cabe resaltar que al uso de rodillo como base para soportar el tubo son de gran importancia, este tipo de pieza se observó en el mecanismo 1 con dos rodillos de sujeción, a diferencia de mecanismo 5 que emplea una holgura cuando se sujeta el tubo. Los otros mecanismos (Mecanismo 3 y Mecanismo 4) dan uso a piezas con forma de abrazadera con el fin de mantener alineado el tubo mientras este se le da curvatura. Un aspecto importante que se consideró en las patentes es el uso de mandriles usado para evitar arrugas, cabe resaltar que el (Mecanismo 2 y Mecanismo 4) dan uso al mandril, llegando al punto de investigar más en el área; empleando micro controlares. De los mecanismos que dan un gran aporte al diseño, (Mecanismo 3). Se captó como un pistón puede aplicarse para doblar un tubo si este se acopló con un sistema cuatro barras, similar al modelo 1 colombiano que manejó este sistema graduable para uno de sus eslabones.

1.2 Marco teórico.

1.2.1 Tipos de doblado

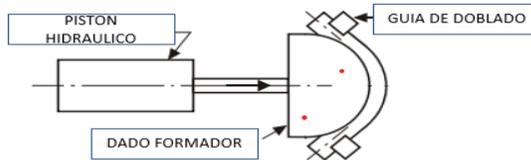
En base de información que se revisó, se analizó el curvado por tracción rotativa, curvado por pistón, curvado de rodillo, flexión de tubos y elementos para el doblado.

1.2.2 Curvado de pistón

Este tipo de curvado es uno de los más antiguos, y simples ya que se utilizó un pistón hidráulico que fuerza los tubos para doblarlos contra una matriz o rodillo con o sin la forma del tubo. Es así que la empresa Alsimet afirmó." Con esta técnica se obtenían formas que hasta entonces eran imposibles, facilitando el uso en maquinarias agrícolas y forestales o en carpintería metálica.". (Alsimet, 2020). En el curvado con pistón de la **figura 1.13**, el tubo es sujetado por dos matrices de soporte (Guía de doblado) y se aplicó una

fuerza por medio de un pistón hidráulico que se sitúa en el centro de la pieza. Las guías de doblado se mueven siguiendo el tubo sobre el dado formador.

Figura 1. 13 Curvado de pistón.



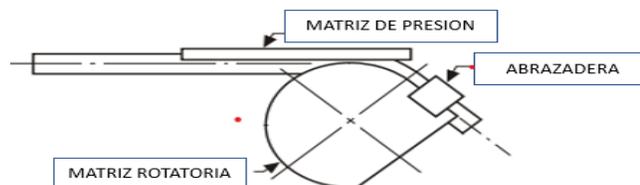
Fuente: Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión.

Al contar con las guías de doblado se define la curva por la presión ejercida por el pistón hidráulico guiando al dado de formado a realizar la curva definida por su diseño. Para resaltar de este modelo es su gran acogida por las empresas de manejo de metales, debido a que se obtienen una gran variedad de tipos de tuberías, además de otras piezas aparte de la construcción. Resultando útil para la cerrajería, la automoción, la industria petroquímica, las estructuras metálicas, etc.

1.2.3 Curvado por tracción rotativa

Al emplear este método, el tubo se fija a una matriz de curvado por medio de una abrazadera de sujeción. En donde se afirmó por la empresa Staminc “Este método encuentra aplicación en líneas de manejo de fluidos, productos en los que los cosméticos de curvatura son importantes y aplicaciones donde se desean radios de curvatura extremadamente "ajustados" o tolerancias dimensionales pequeñas”(Staminc, 2021). A medida que se va realizando la matriz rotatoria, arrastra el tubo contra la matriz de presión y, si es necesario para evitar arrugas se usa un mandril interno.

Figura 1. 14 Curvado por tracción rotativa.



Fuente: Métodos de curvado de tubos, tolerancias, proceso y material. requisitos.

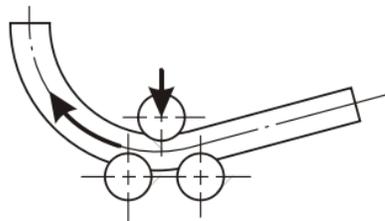
La matriz de presión puede permanecer fija o moverse con el tubo tal como se muestra en la **figura 1.14**. (Pipe Fabrication Institute Engineering Committee, 2012). Este tipo de curvado permite sujetar el tubo con el fin de dar la forma con la matriz rotatoria permitiendo lograr una curva que se mantiene constante debido a una matriz de presión y una abrazadera.

Por otra parte, el tipo de curvado por este método se compone de un doblado por tracción rotatorio, ya que se emplea mandriles, varias matrices controlar el flujo de metal durante el proceso de doblado, además se adicionó un mandril de precisión dentro del tubo. Esto proporcionó una apariencia suave y estéticamente agradable al tiempo que mantiene el diámetro total del tubo en toda el área de curvatura.

1.2.4 Curvado de rodillos

Para el curvado de rodillos, tres rodillos con una matriz del tamaño del tubo, aproximadamente el mismo diámetro dispuestos a una posición piramidal ejerce el doblado del tubo. En palabras de Frina, se afirmó. “Se proporcionan dos rodillos inferiores y están hechos para girar en la misma dirección para que el tubo se alimente entre ellos y un rodillo superior de diámetro un poco más grande que funciona sin hacer nada”. En donde los dos rodillos fijos se oponen al rodillo central ajustable, el tubo pasa a través de los rodillos y la curvatura se realiza por el rodillo ajustable, según la presión aplicada. (Cuadrado, 2012).

Ahora se observó de la siguiente **figura 1.15**, que se puede ajustar la altura de uno o ambos extremos del rodillo superior, y los dos rodillos inferiores, ya que tienen centros ajustables. En uno de ellos como se aprecia el que posee la flecha simbolizando la carga aplicada, y en el tubo la dirección de salida.

Figura 1. 15 Curvado de rodillos.

Fuente: Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión.

Las dobladoras de rodillos son más sencillas, pueden ser operado a mano y se encuentran frecuentemente en los talleres, ya que posee pocas piezas para su construcción es frecuente encontrar este tipo de máquina, en donde la mayoría desconoce de los criterios para su fabricación con el manejo de los radios de curvatura. El modelo de la (**Figura 1.15**), es el usado por el taller Hierros Gamma. En los talleres de ornamentación se usó el doblado por rodillos para producir espirales, este método es de gran parte desgastante para un operario ya que debe realizar una fuerza para ajustar el tubo y que este al girar uno de los rodillos empiece a ejercer la curva.

De manera manual se va logrando la curva y según el número de pasadas. Además, entre más grueso es el tubo más fuerza se debe aplicar para ejercer el doblado atreves de un tornillo sinfín y una palanca manipulada por el operario.

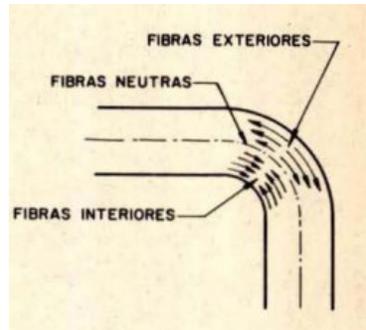
1.2.5 Flexión de tubos

Para emplear métodos para el doblado o flexión de tubos, se deben utilizar métodos eficientes con un uso adecuado de herramientas y técnicas. Dentro de estas técnicas es de gran importancia la pericia del operador. De donde se emplea un tubo con unas características iniciales en cuando el diámetro y pared del tubo, con el fin de evitar fisuras o arrugas en el doblado. Se contó con una herramienta que sirva de matriz la cual debe ser la base dado doblador con un material resistente a las fisuras y otras necesidades.

Por otra parte, se debe tener criterios para el doblado como lo es el radio de curvatura de donde surge un radio de 1,5 a 2 para casos de flexión a compresión, un valor de 4 para casos de flexión rotatoria. (Cuadrado, 2012). Ahora, si se analizó el tubo en el

momento de doblado (**Figura 1.16**), las fibras de la parte exterior de la curva se estiran, y las de la parte interior se contraen; las únicas fibras que no sufren alteración son las fibras de la media y por eso se las llaman fibras neutras. (Calderero, 2008).

Figura 1. 16 Flexión de tubos.



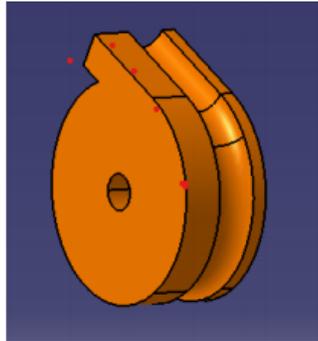
Fuente: Doblado – Sena.

1.2.6 Elementos para el doblado

Al no tener bases en cuanto el radio de curvatura y el espesor del tubo, se puede crear malformaciones en el doblado; denominadas arrugas, arrugas que pueden evitarse con una matriz diseñada a la forma del tubo, partiendo con el radio de curvatura teniendo en cuenta la matriz de flexión o un mandril.

Matriz de flexión

Este tipo de pieza es la base para dar la forma al tubo, partiendo del radio de curvatura. Se usó para dar forma constante al tubo mientras que el gira alrededor de la matriz, el uso de matrices es para evitar malformaciones del tubo, evitar marcas en el tubo (Cuadrado, 2012). Cuando se requiere de tubos con mayor presión de doblado por la matriz, se emplea un elemento anexo al proceso llamado mandril.

Figura 1. 17 Matriz de flexión.

Fuente: Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión.

En la **figura** anterior (**Figura 1.17**), se puede apreciar como la matriz posee una extensión que sobre sale de la forma cilíndrica para sujetar parte del tubo.

Mandril

El mandril es un elemento que se inserta dentro del tubo a doblar, con la finalidad de acoplarse internamente al tubo y mantener una deformación constante mientras la matriz ejerce la flexión. (ver **figura 1.18**).

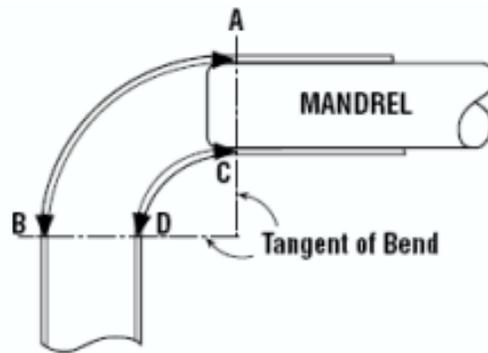
Figura 1. 18 Mandril

Fuente: Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión.

De donde dicho mandril está compuesto de varios anillos unidos por resortes y esferas metálicas con el fin de acoplarse a la forma del tubo, dando una rotación libre entre ellas(Cuadrado, 2012).

Al momento de usar un mandril (ver **figura 1.19**), debe ubicarse después de la zona de curvatura, con el fin de evitar arrugas, en este método para usar mandriles se debe contar con lubricantes para permitir un mayor deslizamiento dentro del tubo, en la siguiente **figura** el mandril debe estar un poco más salido del punto de salida A, debido a que si se inicia antes puede provocar un cambio de sección en el diámetro del tubo.

Figura 1. 19 Posición de mandril.



Fuente: Fabricación con tubos de acero.

Cuando no se usa mandril, se consideró que la pieza que ejerce el doblado o matriz es lo suficientemente grande, y el proceso se hace barato, ya que emplear mandril es de un proceso con control asistido al mandril mientras hace la curva.(Fierro, 2013).

Radio mínimo para el doblado

Al analizar la siguiente tabla se puede apreciar que se consideró un radio de curvatura mínimo o radio mínimo del codo; de donde para una medida de 1 ½'' el radio mínimo sería de 13 cm para un espesor de 1,7 mm, para el tubo de diseño con diámetro de 4,8 cm y espesor de 1,5 mm y un radio con valor de 12, cm está en el rango según la **tabla 1.1**

Tabla 1.1 Codos corrientes de doblado sin mandril

Espesor	2.1 mm		1.7 mm		1.2 mm		0.9 mm		0.7 mm	
	Radio Min. del Codo	Angulo max. del Codo Grados	Radio Min. del Codo	Angulo max. del Codo Grados	Radio Min. del Codo	Angulo max. del Codo Grados	Radio Min. del Codo	Angulo max. del Codo Grados	Radio Min. del Codo	Angulo max. del Codo Grados
1.27	3.18	90	3.18	90	3.81	90	3.81	90	3.81	90
1.90	5.08	90	5.08	90	5.71	90	5.71	90	5.71	90
2.54	6.98	130	7.62	130	7.62	130	7.62	130	7.62	90
3.18	8.89	130	9.53	130	9.53	130	9.53	90	9.53	90
3.81	11.43	130	11.43	130	11.43	130	11.43	90	11.43	90
4.44	13.33	130	13.33	130	13.33	90	13.33	90	13.33	90
5.08	15.24	130	15.24	130	13.33	90	15.24	90		
5.71	17.14	90	17.14	90	17.14	90	17.14	90		
6.35	19.05	90	19.05	90	19.05	90	19.68	90		
6.98	20.95	75	20.95	75	21.60	75	21.60	75		
7.62	22.86	75	22.86	75	23.50	75	23.50	75		

** En la siguiente tabla aparece la equivalencia con el espesor medido en Gauge.

** Para codos de ángulos más pequeño, tales como 10 y 30 grados se podrán usar radios ligeramente menores que los indicados arriba. Distancia mínima entre codos: la distancia entre codos individuales se define como la de una sección recta entre los puntos de tangencia de los codos. Para codos en el mismo plano, la distancia mínima recomendable es de 1 x Diám. Exter del Tubo; para codos en planos distintos es de 3 por el (Diámetro exterior del tubo).

Fuente: Fierro Tradi S.A – Fabricación con tubos de acero.

Como complemento se tiene la afirmación de otros autores en cuanto el radio de curvatura:

- Por parte de Tecnocurve, De donde el radio de curvatura mínimo es 1,5 el diámetro del tubo y como radio máximo 5 veces el diámetro.(Tecnocurve, 2021).
- Por parte Heatylab, de define el siguiente valor para radio mínimo para doblados manuales.: Si el diámetro es menor a 20 mm, no menos de 2.5D. Si el diámetro es más de 20 mm - 3.5D. El valor de D, simboliza diámetro.(Heatylab, 2020).

Al revisar los diferentes tipos de doblado para tubo, se encontró que en los modelos se requiere de una matriz principal para que el tubo se acerque de manera superficial hasta

la matriz y se presione mientras esta gira y se logra el curvado, al mismo tiempo existen matrices que se posicionan de manera fija como un simple apoyo, o que giran con el tubo para que este no pierda su diámetro constante mientras gira alrededor de la matriz principal o dado de doblado.

De igual forma, el doblado de tubo es una forma de dar un valor agregado desde hace muchos años, en donde los requerimientos de diferentes aplicaciones se han solicitado para dar un acabado más atractivo. De donde el doblado se ha venido desarrollando con pistones, cilindros o rodillos, y los complejos que son los de tracción rotativa. Este último modelo de tracción rotativa se ha mejorado con el uso de mandriles el cual tiene un impacto fuerte en este tipo de tecnología ya que se evitó arrugas en el tubo, de donde nace una necesidad de considerar la flexión de tubo al ocasionar imperfecciones por no considerar el radio de curvatura. El radio mínimo o radio de curvatura para el doblado permite tener un rango aproximado de la matriz principal la cual da la curvatura de tubo sin que se pueda presentar malformaciones durante el curvado, las posibles fallas pueden ser grieta, arrugas o doblamiento del tubo en la curva.

1.2.7 Hallazgos en el doblado

Uno de los temas importantes para el mecanizado y fabricación de piezas metálicas, es el doblado, debido a que puede ocasionar en dicha zona, una variación brusca del diámetro original del tubo y la tendencia ovalada del tubo. Hasta ahora, en relación con diferentes procesos de flexión de tubos con variaciones en la condición de carga, se han realizado grandes esfuerzos con investigación de los múltiples defectos e inestabilidades, para la selección y optimización de los parámetros para la conformación de tecnología para curvado de tubos mediante métodos analíticos, físicos, experimentales y numéricos.

Además, hay otras característica que arrojó el tubo al momento de realizarse una curva, una de ellas es la fallas superficial y adicionando otras como observo el autor Yang, en la cual afirmó que “los problemas existentes en la investigación de los temas básicos

comunes en el curvado de tubos como la inestabilidad de las arrugas, el adelgazamiento excesivo (incluso el agrietamiento), la deformación de la sección transversal...”(Yang et al., 2012, p. 2). Provocan un acabo no deseado al momento realizar el doblado.

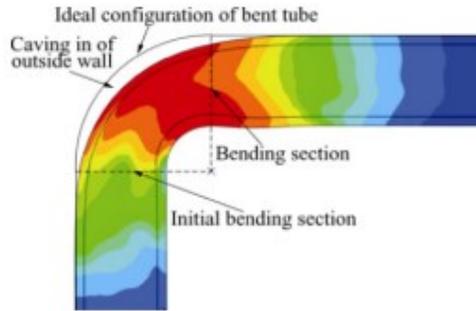
En particular, para conocer un poco sobre las problemáticas que se han desarrollado para lograr una curva en las piezas metálicas, se proceden a investigar algunos hallazgos por diferentes autores:

En el momento de ejercer el doblado, Bisterov afirmó que “La distribución de la densidad de carga en la superficie es distinta de cuando se mecaniza a lo largo de trayectorias rectas de la herramienta, lo que da lugar acumular material en la región más cercana al centro de rotación, debido a la combinación de rotación y a la combinación de una velocidad absoluta reducida”.(Bisterov et al., 2021). De lo anterior se puede decir que la velocidad en el trayecto del tubo en una dirección lineal se lleva de manera constante y al momento de llevar a un cambio de sección para formar una curva debe disminuir la velocidad durante el proceso.

Por otra parte, este tipo de falencia se encontró durante el proceso de predicción computacional para el doblado y al momento de aplicar las cargas, velocidad y esfuerzos generados. En el cual se halló errores en las predicciones para lograr precisión en la aplicación de cargas y esfuerzos; debido a que se llegó a sobre ajustes del proceso. Lo que para Vorkov en su publicación argumentó que dichos métodos de análisis se deben realizar con mucho cuidado para evitar problemas computacionales, en la programación de los elementos que conforme el proceso curvar un tubo.(Vorkov et al., 2019, p. 184).

Ahora en una prueba que realizó Jiang, para el doblado en tubo en acero inoxidable 8 mm aplicando un radio de curvatura de 8 mm, se encontró una variación que no fue aceptable para su investigación, se obtuvo inconsistencia del diámetro del tubo como se observó en la siguiente **figura 1.20**.

Figura 1. 20 Deformación por flexión en tubo.



Fuente: Deformation Behavior of Medium-strength TA18 High-pressure

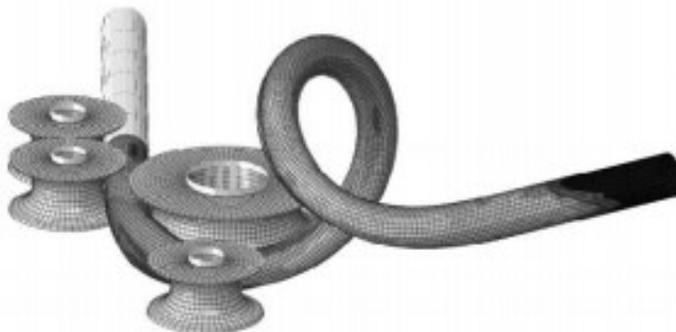
Tubes During NC Bending with Different Bending Radii

Se pudo destacar en la zona de color rojo, una variación del diámetro, al cual no se logró llegar a una curvatura ideal, ocasionando un aplastamiento en la curva externa, y en la curva interna una acumulación del material por un radio pequeño. Anexo a esta deformación en la curva interna de debe a un aumento del ángulo de flexión. (Jiang et al., 2011). Además, el autor afirmó que “Cuanto mayor es el ángulo de curvatura, más evidente es el colapso hacia el interior del tubo”. De parte Jing, es importante considerar el radio de curvatura. De los autores anteriores algunos han brindado aportes para el doblado, Simonetto aporta una característica importante que observo en el momento de doblar los tubos, a medida que el tubo pasa por su matriz de doblado o dado de doblado; esta causa una pequeña vibración que se puede determinar por medio de un mandril inteligente y el uso de algoritmos. Por lo tanto el autor afirmó que “Unos algoritmos específicamente desarrollados permiten el análisis en tiempo y frecuencia de las señales de tiempo y las señales de frecuencia,, lo que permite obtener información precisa sobre la aparición de defectos y su posición a lo largo del tubo. (Simonetto et al., 2017, p. 2321).

Según lo que se afirmó de Simonetto, dichos parámetros y con la ayuda de unas herramientas computacionales se pueden logra un buen resultado en el estudio de doblar tubos. Con el análisis en el dominio del tiempo, de la velocidad angular puede ayudar a determinar el inicio de las arrugas en la zona de flexión, mientras que el análisis en la frecuencia de las señales puede ayudar a determinar el inicio de las arrugas.

Por otra parte, estas falencias han dado paso a otras aplicaciones que se han comprobado por medio de equipos digitales, el cual desarrolló simulaciones y resolvió curvaturas explícitas por cálculo en estaciones de trabajo de Linux con ocho procesadores Xeon que funcionan a 2,93 GHz(Vatter & Plettke, 2013, p. 242). Aprovechó los sistemas de sujeción para ejercer un cambio torsional del tubo y proponer diferentes formas al tubo como se aprecia en la siguiente **figura 1.21**.

Figura 1. 21 Deformación controlada por guías de sujeción.



Fuente: Process model for the design of bent 3-dimensional free-form geometries for the three-roll-push-bending process.

La aparición de la torsión depende en gran medida de la posición de los elementos de la herramienta como lo son los rodillos de sujeción, ya que el dado mayor está diseñado para ejercer la curvatura con la ayuda del mandril. En trabajos futuros, se estudiarán otros factores determinantes de la torsión resultante, como son la geometría del rodillo y las propiedades del material. Similar al Trabajo avanzado realizado por Ghiotti que desarrollo un prototipo de dobladora que emplea electrodos que generan calor en el doblado, y aplicación de agua durante el enfriamiento creado un acabado térmico en el doble.(Ghiotti, 2016, p. 64)

Síntesis del capítulo I.

Con el desarrollo del capítulo I. se da a conocer la importancia que se ha generado en el sector metalmecánico del país; con el fin de proponer una máquina para doblar tubo. De igual forma, es un tema investigación por las universidades mencionadas en los modelos mencionados y patentes realizadas. Es así que el taller Hierros Gamma debe conocer que se ha hecho hasta el momento con el doblado de tubo, que hallazgos encontrados en el acabo final de las curvas pueden afectar el diseño, que parámetros se deben tener en cuenta si se quiere diseñar una máquina como se observa en la tabla comparativa del **anexo (Anexo 6.1. Tabla comparativa de modelos nacionales.)**.

Conociendo la importancia en el doblado de tubo; se podrá plantear modelos y escoger uno para realizar el cálculo ingenieril de la máquina.

2. Capítulo II. Cálculo de diseño y simulación de la dobladora de tubo.

2.1 Características de los modelos para doblar tubo a nivel nacionales.

Luego de haber analizado diferentes modelos del capítulo I. se tomó características para plasmar 3 modelos morfológicos de la máquina dobladora de tubo de 1 ½”.

Características a considerar:

- Del modelo 1: La máquina pueda ser graduable para el doblado.
Esta característica se consideró importante debido a que el tubo permite que el operario tenga control del ángulo que desea obtener al doblar.
- Del modelo 2: Considerar el factor de diseño.
Al tener en cuenta el factor de seguridad, permite conocer que el material en las partes críticas de la estructura pueden soportar la cargas y esfuerzos. De igual forma, se usó un factor que aumente el tamaño de las piezas y estas sean más costosas, y pesadas para la máquina.
- Del modelo 3: Realizar programación de PLC en los componentes de la máquina.

Ver la opción de que componente requieren de programación por PLC.

- Del modelo 4: La elevación de una matriz se puede realizar con el uso de un gato hidráulico.

Este modelo manual le permite al operario ejercer una fuerza graduable para ayudar al doblado de tubo. El emplear el gato hidráulico se consideró una alternativa económica.

- Del modelo 5: Analizar el uso de la bomba hidráulica con cilindros hidráulicos.

Dependiendo del modelo, planteado ver que componente se puede usar cilindros hidráulicos para el doblado, y posterior a ello determinar la bomba hidráulica.

2.2 Requisitos funcionales de la máquina dobladora de tubo de 1 ½''.

Al haber socializado con la el taller, sobre las características del doblado de tubo a nivel nacional y patentes a nivel internacional, se consideró por parte del dueño que entre los requisitos para la máquina se deberá considerar los siguientes aspectos:

- La máquina debe usar un motor para el doblado, con el fin de no ejercer fuerza excesiva por los operarios y se pueda ocasionar una lesión a futuro.
- No superar las siguientes medidas: Altura 700 mm, ancho 600 mm, largo 1200 mm).
- El costo que se logre en la tabla de elementos de la máquina sea económico o se justifique su inversión.
- La máquina no requiera de elementos complejos, en el caso que falle alguna se pueda construir de manera fácil o sea económico su reemplazo. elementos complejos.
- La matriz de doblado principal debe dar una revolución por cada 2 segundos, con el fin de apreciar visualmente si hay imperfectos en el doblado.

- Determinar cuántas vueltas por parte de la matriz de doblado se requiere para un metro de tubo de 1 ½" y llegar a 45 °.

2.3 Estructura funcional de la máquina dobladora de tubo de 1 ½".

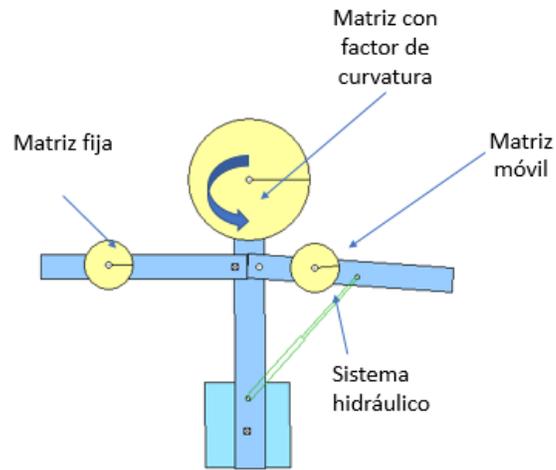
El diseño propuesto está compuesto por la siguiente jerarquía de funcionalidad.

1. Sujeción: para lograr un buen acabado del doblado del tubo, debe contar con un sistema de sujeción; en el cual permita por presión sujetar el tubo en los dos extremos.
2. Mecanismo de tracción: En este conjunto de elementos para el mecanismo que ejercer la tracción sobre el tubo y ejercer el doblado, debe ser ejecutado por un motor el cual pueda cambiar el sentido de giro, con el fin avanzar o retroceder el tubo.
3. Elementos móviles: Los elementos móviles son usados como complemento al mecanismo de tracción para ayudar a deformar el tubo, sobre este se podrá ubicar cilindros hidráulicos o gato hidráulico manual.

2.4 Propuestas morfológicas de diseño

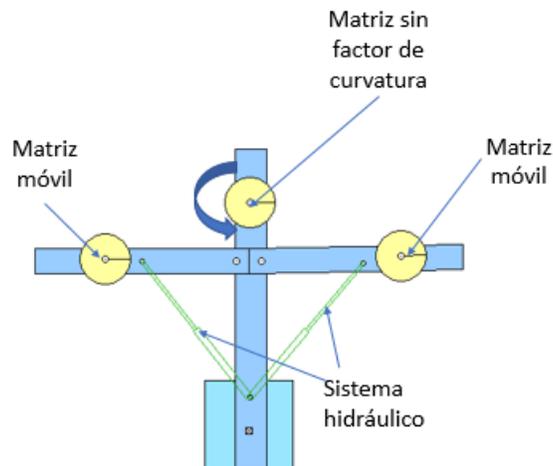
Luego de analizar los modelos nacionales se propuso los siguientes modelos que se realizó en el software de Working Model.

Alternativa 1: El modelo de la siguiente **figura 2.1**, se planteó con unos sistemas de sujeción denominados matriz fija y una matriz móvil, se definió una matriz que tenga encuentra el factor de curvatura, simbólicamente se ubicó el motor sobre la matriz de diámetro mayor. Para ejercer el doblado se empleó un sistema hidráulico el cual será accionado por una bomba hidráulica. En los componentes móviles se ubicó una matriz fija y otra móvil que se acopla con un cilindro hidráulico. En cuanto al mantenimiento se debe garantizar que no existan fugas se debe garantizar los cambios de empaques, sellos, liquido hidráulico, mantenimiento de la bomba hidráulica.

Figura 2. 1 Alternativa 1

Fuente: Modelo realizado en Working Model

Alternativa 2: El modelo de la siguiente **figura 2.2**, planteó un diseño con tres matrices iguales ya que el doblado se llevará de manera controlada por el sistema hidráulico. No se contempló el radio de curvatura. Para ejercer el doblado se emplea un sistema hidráulico el cual será accionado por una bomba hidráulica.

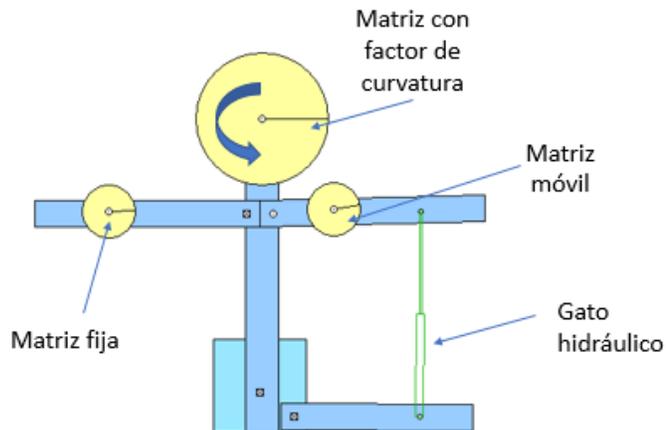
Figura 2. 2 Alternativa 2.

Fuente: Modelo realizado en Working Model

En los componentes móviles las dos matrices que se usan como sistema de sujeción están conectadas a un sistema hidráulico. Se propone que este modelo se use programación de PLC para el control de la sujeción y el doblado. En cuanto al mantenimiento se puede decir que es complejo, ya que se debe garantizar una excelente programación PLC, se debe garantizar que no existan fugas se debe garantizar los cambios de empaques, sellos, liquido hidráulico, mantenimiento de la bomba hidráulica.

Alternativa 3: El modelo de la siguiente **figura 2.3**, plantea un diseño con una matriz móvil, una matriz fija y una matriz con factor de curvatura. En dicha matriz con diámetro mayor de curvatura se contempló el factor de curvatura. Como componente móvil se ubicó una matriz móvil el cual se acciona por el gato hidráulico. La matriz móvil se usó como elemento de sujeción y apoyo para el tubo. En cuanto al mantenimiento se puede decir que tiene pocas piezas móviles, ya que consta de solo un componente de elevación, y el gato hidráulico se puede reemplazar fácilmente.

Figura 2. 3 Alternativa 3.



Fuente: Modelo realizado en Working Model

2.5 Selección de alternativa de diseño

Se uso el método de la matriz de Pugh(R. González, 2012) de la **tabla 2.1**, con el fin de seleccionar una alternativa con los siguientes criterios; Economía, Complejidad del sistema, Mantenimiento, uso de factor de curvatura. De donde se maneja la el valor de (1) si es mejor, peor (-1) y (0) cuando es similar.

Tabla 2. 1 Selección de alternativas de diseño-

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Economía	0	-1	1
Complejidad del sistema	0	1	0
Mantenimiento	1	-1	1
Uso del factor de curvatura	1	-1	1
Total	2	-2	3

Fuente: Propia.

Como resultado, la opción de la alternativa 3, llego a un total de 3 puntos por lo tanto se dejó como alternativa para evaluar.

2.6 Variables de diseño

En el desarrollo del cálculo ingenieril implementado para el diseño, se planteó las siguientes variables

- Radio de curvatura mínimo (Rc): Se debe determinar cuál es radio de curvatura con el fin de evitar arrugas en el tubo, y luego este radio se aplica para dar la geometría del dado doblador o matriz de doblado.

- Características iniciales del tubo: Espesor, diámetro exterior, esfuerzo de fluencia para determinar cuanta carga se requiere par deformar el tubo sin que este vuelva a su estado original.
- Pendiente máxima del tubo de doblado (Y_{max}): La pendiente máxima permite determinar cuánto alcanza a deformar con la carga aplicada según lo hallado por el esfuerzo de fluencia del tubo.
- Potencia de motor (P): Con la carga máxima se determina la potencia que se debe tomar desde el motor, el paso por el sistema reductor de árboles, y la matriz de doblado.
- Relación de velocidad final a 30 rpm.: Se verifica si el motor seleccionado logra llegar a lo exigido en el la matriz de doblado, dicho valor debe estar en 30 Rpm.
- Selección de materiales para la estructura de soporte para la máquina.

2.7 Radio de curvatura mínimo

Para determinar el radio de la matriz de doblado se debe tener en cuenta si se usa mandril o no, para ello se emplea la el factor de curvatura que es una relación de distancia al eje neutro para que el tubo o cuerpo a doblar evite arrugas o deformaciones no deseadas.

$\emptyset ma$: Diámetro exterior del tubo a doblar

Rc: Radio circular obtenido después de doblar

Fc: Factor de curvatura

Ahora el factor de curvatura:

$$F_c = \frac{R_c}{\emptyset ma} \quad (2.1)$$

Los siguientes factores determinan el radio de curvatura a usar(Uribe, 2003, p. 19):

- Fc: 1 y 2 con mandril, resina o arena. Se obtiene una mejor calidad.
 - Fc: 2,5 a 3,5 cuando es simple.
 -

Ahora al usar los datos de(**6.2 Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.**) y empleando un Fc de 2,5:

Diámetro de tubo (\emptyset ma): 1`1/2: 48 mm calibre 16: 1,524 mm

Diámetro 48 mm radio de doblado: 120 mm

Como se requiere un radio para determinar el diámetro para emplearse en la matriz de doblado se obtiene de la siguiente manera:

Diámetro del dado (D_b):

$D_d: 2,5 \times R_c$

$D_d: 2 \times 48 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$

Con el anterior resultado del diámetro de 240 mm, se procede a realizar el diseño de la matriz de curvado, ya que se consideró en no usa un mandril para evitar arrugas.

2.8 Características iniciales del tubo

Las características iniciales del tubo de 48mm grado c, se dispuso de los siguientes datos para el desarrollo del cálculo ingenieril; en base de catálogo de tubería Metaltub. **(6.2 Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.)**. De donde se tiene como dato referencia:

Resistencia o influencia mínima: 315 MPa

Espesor del tubo: 1,5 mm

Diámetro del tubo: 48 mm

Como se requiere deformar un tubo por flexión se usa ecuaciones referentes al tema teniendo en cuenta que el tubo se someterá a esfuerzos de fluencia para conservar una forma deseada. Ahora al emplear la fórmula de flexión:

$$\sigma = M/S \tag{2.2}$$

S: módulo de sección

M: momento

σ : esfuerzo

De donde:

$$S = I/C \quad (2.3)$$

I: inercia

C: distancia al centro neutral

Se tiene:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{M}{I/C} = \frac{M \times C}{I}$$

Ahora para conocer el término de inercia para un tubo:

$$I = \pi(D^4 - d^4)/64 \quad (2.4)$$

D= 48 mm

Como se usa tubería calibre 16 =1,5 mm se restó las paredes:

d= 48 mm - 1,5 mm x 2 = 45 mm

El valor de la inercia:

$$I = (\pi/64) * (48 \text{ mm}^4 - 45 \text{ mm}^4)$$

$$I = 59287,30 \text{ mm}^4$$

El valor de C = $\frac{48 \text{ mm}}{2} = 24 \text{ mm}$

Ahora como se requiere conocer como es la fuerza para flexionar el tubo. Despejo de la (2.2 al momento).

$$M = \frac{\sigma \times I}{C} \quad (2.5)$$

M=778,1 Nm Momento que debe ejercer el dado doblador.

Con el anterior momento, se logra a deformar el tubo sin ninguna resistencia ya que el tubo se analizó desde el punto de fluencia del material.

2.9 Fuerza que recibe la matriz móvil (Dado doblador)

Para conocer el diámetro o radio de doblado empleamos el factor de 2,5:

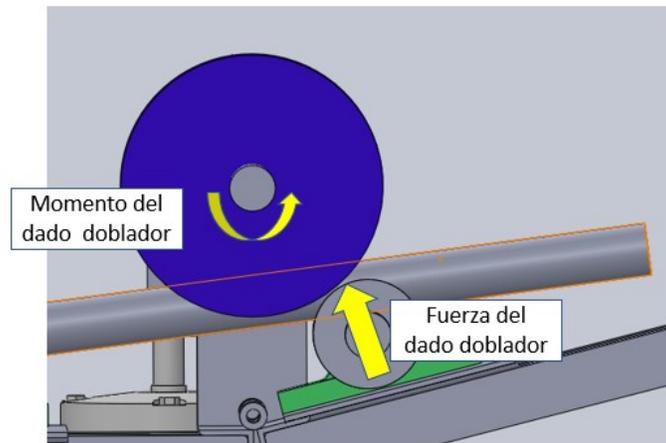
$$Rc = Fc \times 48 \text{ mm}$$

$$Rc = 2,5 \times 48 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

El diámetro para el dado de doblado será de:

$$\text{diámetro} = (Dd) = 120 \text{ mm} \times 2 = 240 \text{ mm}$$

Figura 2. 4 Fuerza y momento en el doblado del tubo.



Fuente: Propia.

Con el diagrama de la **figura** 2.4 se entiende que, al momento de pasar el tubo, este debe ejercer una fuerza; debido a la tracción que hace la matriz de doblado (Momento del dado doblador), dicha fuerza es la reacción que se opone al hacer contacto con la matriz móvil.

Fuerza del dado doblador

$$F = M / \frac{\text{Diametro dado}}{2} \quad (2.6)$$

$$F=15562,91 \text{ N}$$

Ahora para determinar si dicha fuerza puede doblar el tubo dejaremos como incógnita en la siguiente (para una viga en voladizo

$$Y_{max} = \frac{PL^3}{3EL} \quad (2.7)$$

de donde por medio del siguiente diagrama determinar la magnitud y el Ymax que se quiere para distancia una distancia L:

$$\text{Periferia} = S = r \varnothing$$

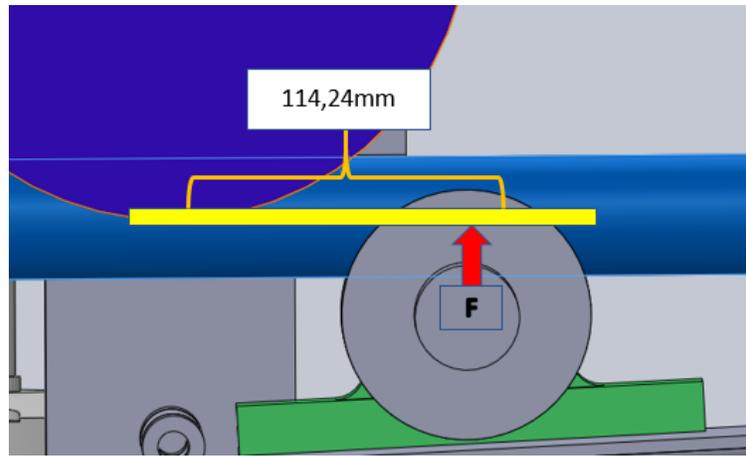
De donde:

$$\varnothing = \frac{2\pi}{8}$$

$$L = 120 \text{ mm} \times \left(\frac{2\pi}{8}\right)$$

$$S = 94,24 \text{ mm}$$

$$L = 94,24 + 20 = 114,24 \text{ mm}$$

Figura 2. 5 Distancia para aplicar fuerza de doblado.

Fuente: Propia.

El módulo elástico $E= 207 \text{ GPa}$

Con el valor de $I= 59287,5 \text{ mm}^4$

Como ya se conoce que el dado formador hace un momento de $778145,8 \text{ N.mm}$

Que en relación con el dado en fuerza será:

$$F = \frac{M}{d} = \frac{778145,8 \text{ N. mm}}{120 \text{ mm}}$$

$$F = 6484,54 \text{ N}$$

El valor anterior indica la fuerza que se opone al momento que ejercer el dado doblador sobre el tubo ubicada en la matriz de apoyo móvil. Como se planteó un diseño donde una pieza se pivotea y un extremo; correspondiente a la matriz móvil, se analizó cuánta fuerza se requiere para desplazar el tubo 5mm.

$$y = \frac{PL^3}{3EI}$$

(2.8)

$$P = 439893,39 \text{ N}$$

Ahora dicha fuerza debe ser de apoyo por otro sistema de fuerza adicional, para ser reemplazada por un gato hidráulico.

$$y = 0 \quad - Ry + P \operatorname{sen} 45 + F = 0$$

$$x = \quad Rx - p \operatorname{COS} 45 = 0$$

Momentos en R += 0

$$F(\operatorname{sen}(50 - 178)x315\text{mm} + p \operatorname{cos}$$

2.10 Vueltas requeridas para doblar el tubo.

Como se logró determinar que el tubo se puede deformar al provocar una pendiente de 5 mm en el extremo del tubo, ahora para se determinó cuantas vueltas se requieren para doblar el tubo hasta 45 grados. En donde se parte de la longitud periférica del dado doblado para hallar cuanto abarca del tubo:

$$Lon = Longitud = 2\pi.R$$

Donde R= 120 mm.

$$Lon = 2\pi.120 \text{ mm}$$

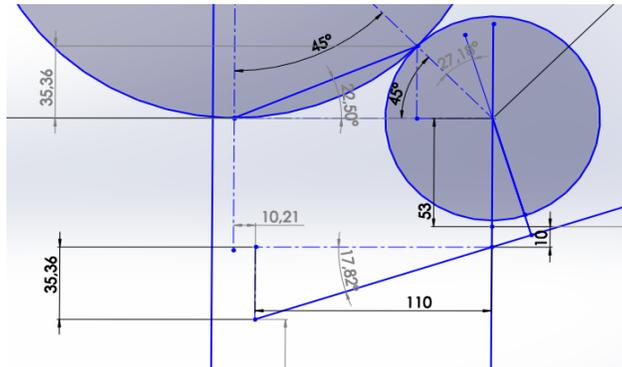
$$Lon = 753.98 \text{ mm}$$

Longitud que abarca cuando la matriz de doblado realiza una vuelta. Para completar 1 metro: se requiere:

$$Lon. total = 753.98 \text{ mm} + 753.98 \text{ mm}/2$$

$$Lon. total = 1129 \text{ mm}$$

En donde se definió que para lograr una deformación de 5 en el extremo del tubo se requiere 1 vuelta y media. Ahora en la siguiente **figura 2.6**, para llegar a un ángulo de 45 que seria 1/8 del diámetro de la matriz de doblado, se requiere 35 mm de elevación de la matriz móvil.

Figura 2. 6 Elevación para llegar a 45 ° de la matriz móvil.

Fuente: Propia.

Ahora como el doblado de tubo se debe cambiar de giro ya que el tubo, llega a su extremo se determinó por la siguiente **tabla 2.2**, cuantas pasadas se requiere para llegar a la altura de 35.36 mm.

Tabla 2. 2 Tabla para determinar el número de pasadas para tubo de 1 metro.**Relación de numero de pasadas y altura de elevación de la matriz móvil**

N. Pasadas	Vueltas	Tiempo	Elevación
1 Avance	1 + ½ vuelta		5 mm
		s	
2 Retroceso	1 + ½ vuelta		10 mm
		s	
3 Avance	1 + ½ vuelta		15 mm
		s	
4 Retroceso	1 + ½ vuelta		20 mm
		2 s	
5 Avance	1 + ½ vuelta		25 mm
		5 s	
6 Retroceso	1 + ½ vuelta		30 mm
		8 s	
7 Avance	1 + ½ vuelta		35 mm
		1 s	

Fuente: Propia.

En donde se obtiene que para lograr doblar un tubo a 45 ° se requiere de 7 pasadas en un tiempo de 21 segundos, como será operada manualmente se da de tiempo entre cambio de giro al motor 2 segundos por parte del operario entonces se tiene como tiempo adicional:

$$tiempo\ Adicional = 2\ s \times 7 = 14\ s$$

Ahora el tiempo estimado para doblar un tubo de 1 ½ “con longitud de 1 metros se requiere un tiempo de 35 segundos.

2.11 Cálculos para el motor

Para determinar la potencia del motor, se dará inicio a calcular con los datos la matriz de doblado en el torque requerido:

$$T = 778,1\ N$$

N= revoluciones (x)

La potencia requerida es de

$$P = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

(2.9)

En 2 segundos se da una vuelta , n= 2 segundos, según requerimiento del taller.

Se hizo la conversión a rpm:

$$2\ s \cdot \frac{1\ min}{60\ s} = 0,03\ min$$

$$\frac{1\ rpm}{0,03\ min} = 30\ rpm$$

La potencia requerida:

$$P = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$P = 2444,6\ w \cdot \frac{1\ hp}{145,7\ w}$$

$$P = 3,27\ hp$$

Potencia requerida hasta el doblado.

2.12 Cálculo de la potencia del motor

Partiendo con la potencia hallada de 3,27 Hp, se procede a calcularla nueva potencia contemplando las pérdidas por rodamiento, escalones y elementos de transmisión.

$$PM = \frac{P}{n_{gral}} \quad (2.10)$$

PM: potencia del motor

P: potencia a mover

n_{gral} : eficiencia de transmisión

De donde

$$n_{gral} = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_r^a \quad (2.11)$$

$$a=3$$

De donde n_a , n_b , n_c son la eficiencia por cada escalón. En donde se toma datos de la siguiente **tabla 2.3**.

Tabla 2. 3 Tabla de eficiencias para elementos de transmisión.

Tipo de transmisión	En baño de aceite	Abierta
Dentada con ruedas cilíndricas	0.95 a 0.98	0.92 a 0.94
Dentada con ruedas cónicas	0.94 a 0.97	0.91 a 0.93
Por cadena	0.95 a 0.97	0.90 a 0.93
Por correa		0.95 a 0.96
Por fricción	0.90 a 0.96	0.75 a 0.88

Fuente: Introducción a los accionamientos de máquinas.

$n_a=0.95$ para correa

$n_b= 0.95$ para rueda dentada

$n_c= 0.95$ para cadena

$n_r= 0.97$ por rodamiento

$$n_{gral} = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_r^a$$

$$n_{gral} = 0,831$$

La potencia del motor:

$$P = 3,93 \text{ hp}$$

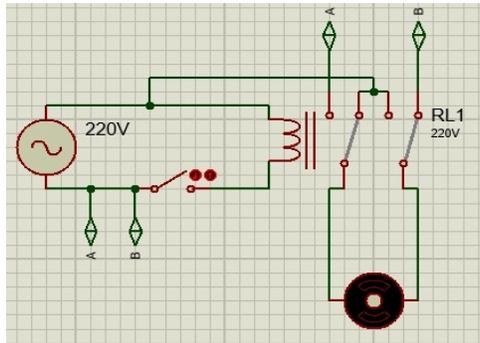
Con el valor P, se está considerando las pérdidas por rodamientos, por contacto entre cadena, por contacto entre piñones de la caja reductora y el número de ejes. Con este valor se procede a buscar un motor a 1800 rpm.

2.13 Selección del rpm del motor y el número de escalones

En la selección del rpm a usar, se realizó prueba para 900 rpm ,1800 rpm y 3600 rpm según el anexo (**6.3 Anexo. Selección del rpm del motor y el número de escalones**). En donde se tomó la prueba de 1800 rpm debido que se requiere tres escalones lo cual significa que usar 3 escalones o ejes para reducir la velocidad y llegar a 30 rpm, A la vez, en la prueba de 900 rpm, aunque se usó menos escalones, el motor de 900 rpm no es comercial y se requiere de hacer pedido con tiempo, o usar una caja reductora con una mayor relación de velocidad para lograr llega al 30 rpm. Por lo tanto, se usó para el cálculo un motor de 1800 rpm para una reducción a 3 escalones.

2.14 Plano del circuito eléctrico para el sistema eléctrico del diseño

Para el tipo de circuito que debe llevar el diseño de la dobladora de tubo, se contempló que sistema eléctrico debe llevar, un motor monofásico a 220V, como el motor se debe controlar el cambio de giro se debe emplear un contactor para avance y un contactor para el retroceso., un interruptor para alimentar el sistema.

Figura 2. 7 Circuito eléctrico.

Fuente: Plano realizado en Proteus- Propia.

Ahora la **figura 2.7** mostró que el cambio de giro se realizó por los pulsadores A (giro a la izquierda) y pulsador B (giro ala derecha).

2.15 Cálculo de la frecuencia de giro y distribución de transmisión

Para el cálculo de la frecuencia de giro, se determinó la relación de transmisión requerida desde el motor hasta la matriz de doblado, partiendo de una transmisión general.

i_{gral} : transmisión general

n_m : nigral

n : máquina movida=30 rpm / min

n_w : velocidad del motor= 1800 rpm

De donde

$$i_{gral} = \frac{n_w}{n} = 60$$

Ahora

$$i_{gral} = i_a \cdot i_b \cdot i_c$$

(2.12)

i_a : transmisión al motor

i_b : caja reductora (3-4)

i_c : reductora a elemento requerido (4-6)

Se usaron dos ruedas piñones existentes para disminuir velocidad.

$$ic = \frac{85}{10,5} = 8,5$$

Ahora de tabla tomaremos un rango según sea para correa de 2 a 4, del anexo. **(6.4 Anexo. Relación de transmisión):**

$$ia = \frac{14}{8} = 1,75$$

Ahora determinamos ib:

$$igral = ia \cdot ib \cdot ic$$

$$ib = 4,03$$

Cálculo de velocidad:

$$n1=1800rpm$$

$$ia=1,75$$

$$ib= 4,03$$

$$ic= 8,5$$

$$n2 = \frac{n1}{ia} = 1028,57 \text{ rpm}$$

$$n3 = \frac{n2}{ib} = 255 \text{ rpm}$$

$$n4 = \frac{n3}{ic} = 30,02 \text{ rpm}$$

Con la anterior verificación se rectificó que sí se logra llegar a la velocidad indicada de 30 rpm.

2.16 Selección de componentes de la máquina.

Los siguientes resultados de cálculo se realizó del anexo. **(6.4 Anexo Selección de materiales para estructura).**

Para seleccionar el motor: Por medio de la página Weg con 3,93 Hp (2930 W), y el anexo xxx, se obtuvo el siguiente motor a 1800 rpm:

- Motor trifásico: W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Para los componentes de la estructura de soporte se evaluó la pieza móvil y los parales que soportan toda la carga del sistema. En donde se obtuvo:

- Perfil angular (Soporte móvil): $51\text{ mm} \times 51\text{ mm} \times 9.5\text{ mm}$
- Perfil en C (Parales): $c\ 80 \times 6.1\ S = 1.8\ E^{04}$.

El resto de estructura se tomó de base la medida del perfil en C.

Síntesis del capítulo II.

De los datos usados como parámetros en el tubo; en el numeral (2.2 Características iniciales del tubo) 1 1/2" (48 mm) con un esfuerzo de fluencia de 315 Mpa el cual arrojó un momento de 778145,8 N.mm permitiendo doblar el tubo.

Dicho valor y con el factor de curvatura de 2,5 arrojó un diámetro para la matriz de doblado con un diámetro de 240 mm, valor que permitirá curvar tubo sin presencia de arrugas. De igual forma el tubo y la carga aplicada arrojó un valor de pendiente para 5 mm, con un gato hidráulico que llegó a las 5 toneladas.

En cuanto el motor se obtuvo como potencia requerida es de 3,93 Hp, teniendo en cuenta eficiencias de los rodamientos, números de árboles o ejes requeridos para llegar a 30 rpm que se necesitan hasta la matriz de doblado.

3.Capitulo III. Análisis de los principales resultados.

3.1 Resultado al objetivo 1.

Con el diseño de esta máquina dobladora de tubo se aporta para el municipio con un prototipo que no existe, permitiendo ser base para el taller hierros gamma para una futura implementación. Por otra parte, se logró captar información a nivel nacional e internacional por medio de los siguientes análisis.

3.1.1 Análisis modelos Nacional e Internacional

Análisis de los modelos existentes a nivel nacional:

- Del método manual del modelo 1, se consideró un doble lento y de manera controlada. Se evito usar factores de seguridad altos y se tomó criterios de diseño por método de TECM.
- Del método Doblado por estiramiento del modelo 2, se consideró el usó de sistema hidráulico para ayudar a dar forma al tubo, resaltando para el diseño emplear un gato hidráulico manual. De igual forma se trató el cálculo de diseño como viga empotrada para determinar su pendiente.
- Del método Doblado hidráulico con programación en PLC del modelo 3, se resaltó el usó de una torsión y constante y de una fuerza aplicada según la altura que, de un gato hidráulico, pero de forma constante, en cada elevación del tubo por alturas de cada 3.4 mm. A la vez es similar el tiempo

de doblado con el modelo en cuanto el usó de las RPM de donde se usó un valor similar al de Brand de 35 Rpm y el del diseño de 30 Rpm.

- Del método dobladora de tubo por gato hidráulico del modelo 4, se resaltó el usó de un gato para un extremo del sistema de doblado, en donde ejerce la deformación del tubo mientras este está pasando por el dado doblado, el cual se mueve por el sistema de transmisión.

3.1.2 Bases aprovechadas a nivel internacional en el diseño

Análisis de las características de las patentes de estudio:

- Del mecanismo 1, se observó y analizó de la literatura e imágenes que se debe emplear etapas para el doblado, no todo fluye directamente, siempre existe componentes que den ser controlados; debido a esto se emplean sistemas electrónicos para dicho control.
- Del mecanismo 2, no se contempló la función del mandril ya que no se posee el medio para adquirir dichos elementos para controlar la deformación del tubo, en lugar de ello se prevé el diseño de una matriz de doblado contemplando el radio de curvatura.
- Del mecanismo 3, sirvió para complementar en el diseño un sistema que fuera usado por un control neumático, que en este caso se usó un gato hidráulico de 5 Toneladas.
- Un aporte del mecanismo 4, es el usó de una estructura que sea rígida y soporte las cargas que se presentan al doblar el tubo, para ello el modelo se empleó ángulo estructural con espesores de 5 milímetros debido a que se requiere un gran torque o momento para flectar el tubo hasta dar la forma deseada de la matriz.

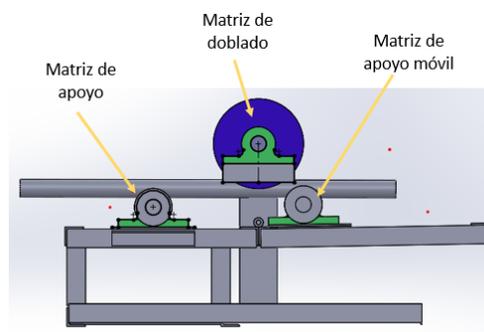
Con la comparación de modelos a nivel nacional de la tabla anexo 4, y el análisis de mecanismos a nivel internacional se logró cumplir con el objetivo 1. **“Analizar los sistemas de doblado en tubo a nivel nacional e internacional.”**

3.2 Resultado a objetivo 2.

3.2.1 Modelo final del diseño propuesto

Como resultado final, y usando un modelo similar al de rodillos y el de tracción rotatoria con un complemento de gato hidráulico se logró diseñar el siguiente Cad 3D y una explicación con detalle de cómo se planteó el diseño de las matrices de doblado, matriz fija y matriz móvil según el anexo. (6.10 Anexo. Planos y Medidas generales.).

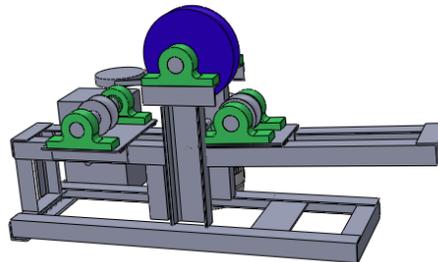
Figura 3. 1 Modelo final 3D.



Fuente: Autor.

Como resultado final (Ver **figura 3.1**), de la máquina de doblado se tiene el siguiente diseño 3D:

Figura 3. 2 Diseño 3D- Vista isométrica.

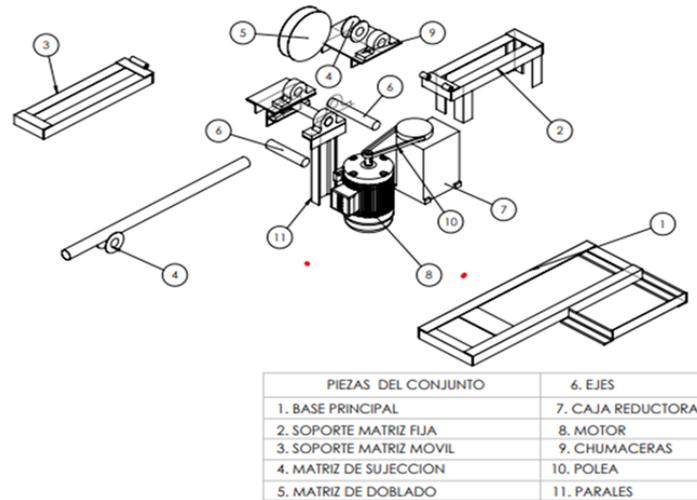


Fuente: Autor.

En la **figura 3.2** se puede apreciar el dado doblado o matriz de doblado de color azul, y en medio de las chumaceras la matriz fija y la matriz móvil.

En donde se puede apreciar a mayor detalle las partes que componen el diseño, se realizó una explosión con el fin de identificar sus componentes del anexo. (6.10 Anexo. Planos y Medidas generales):

Figura 3. 3 Piezas del conjunto.



Fuente: Propia.

Partes de la estructura:

- De las piezas anteriores se identificó como partes de la estructura fija: Los pares, Base principal, soporte de matriz fija.
- De las piezas que componen la estructura móvil: Soporte de matriz móvil, matriz de doblado, matriz de doblado.
- De las piezas que componen el sistema de transmisión: Motor, caja reductora, Chumaceras.

Con los resultados de diseño en cuanto: diseño 3d, sujeción del tubo, criterios de elevación de las matrices de apoyo se logró cumplir con el objetivo 2. **“Diseñar una máquina dobladora de tubo redondo de 1 ½” para ángulos de 0 a 45 grados.”**

3.3 Resultado al objetivo 3.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en el anexo. (6.11 Anexo. Aplicación de cargas en el software de Diseño SolidWorks).

Para dar cumplimiento al objetivo 3 se partió por los datos iniciales de Momento torsional dado por el dado principal en un valor de 778,1 Nm y el valor que ejerce la fuerza opuesta al sistema P con un valor de 123472.06 N para lograr una estimación de 5 mm según el cálculo inicial. Al pasar dichos datos al Software de diseño SolidWorks arrojó un valor de 3,4mm. Con lo anterior se puede afirmo que del cálculo al sistema de elementos finitos hay una variación entre los 3,4 a 5 mm propuestos en la pendiente máxima de la (2.8, cuando se realiza una primera pasada del tubo por el dado. Ahora con el dato anterior e 3,4 mm y analizado según la experiencia del taller Hierros Gamma se lograría dar cinco pasadas para una curvatura que este dentro de los 30 a 45 grados. Este número de pasadas es bastante útil ya que no se requiere de tener más de un operario en la dobladora, solamente llevar elevaciones pequeñas con el gato hidráulico y con la torsión que hace el dado doblador se logró curvaturas para diferentes ángulos.

Se logro comprobar que el cálculo y selección de materiales en la estructura de soporte bajo un factor de seguridad de 1.5 están dentro del rango que manejo el software de diseño, que asumió un valor de 2, lo cual significa que los materiales no están sobredimensionados como se observó en el modelo 2, de los modelos nacionales, que llevo a usar factores de seguridad desde 7 hasta 32.

Con el resultado de la simulación de la aplicación de carga y el factor de seguridad aplicado de 2, se logró cumplir con el objetivo 3. “Simular por elementos finitos el comportamiento de doblado de tubo redondo 1 ½”.

3.4 Resultado al objetivo 4.

Basados en el diseño propuesto de tesis se realizó una cotización (ver. 6.12 Anexo. Cotización de elemento que componen la propuesta de diseño), en la zona más cercana del taller de donde se logró conseguir la totalidad de las piezas para una estimación del costo de la máquina.

Se revisó y trato con el propietario del taller Hierros gamma, el señor Luis Ricardo Gomajoa Chamorro; el valor de la maquina tiene un impacto sobre el taller ya en un promedio semanal los servicios prestados y que se dejan acumular para realizar el traslado hasta Neiva, pueden ser como ejemplo (ver **tabla 3.1**) de los servicios que llevan con mayor frecuencia:

Tabla 3. 1 Ejemplo- Promedio de trabajos acumulados en una semana.

Trabajos acumulados en una semana		
4 paralelos curvos	Valor 150.000 unidad	Total \$ 600.000
3 piezas pasamanos	Valor 120.000 unidad	Total \$ 360.000
Total		\$ 960.000

Acumulando 2 servicios para un total de 7 piezas a doblar, se generan para el taller un gasto por doblado al siguiente precio:

Doblado de paralelos: \$ 30.000 unidad, total \$ 120.000

Doblado de pasamanos \$ 16.000 unidad, total \$ 48.000

De igual forma, se adiciono el valor de combustible. \$ 20.000 y medio día de un operario \$ 25.000. Para un total de gastos \$ 208.000.

Este gasto generado por el taller de \$ 208.000 se hace por semana, en algunas ocasiones el valor puede subir a \$ 250.000. Lo cual, para un mes el taller puede gastar \$ 832.000. visto desde un año a este valor promedio puede generarse un gasto de \$ 9'984.000.

Revisado este valor de \$ 9'984.000., el taller puede realizar la inversión en la maquina ya que, según lo cotizado en el mercado local, se estimó un valor de \$ 4'228.500. Se puede decir que la inversión se recupera en un año.

Adicional el por parte del taller hierros gamma se puede ofrecer el servicio de doblado a un valor mejor que lo cobrado en Neiva, con el fin apoyar el sector metalmeccánico del municipio de Palermo.

Con la anterior cotización de 4'228.500 Cop y al tener en cuenta las piezas que van dentro del diseño se logró cumplir con el objetivo 4. **“Elaborar tabla de costos de los materiales para el diseño.”**

4. Conclusiones.

Se analizó que el sector metalmeccánico del departamento del huila no genera tanto impacto como lo es el Manizales y Bogotá, esto dice que en el Huila se puede aprovechar para generar más servicios, y darse a conocer por parte del taller hierro gamma.

Se diseñó y simuló una máquina dobladora de tubos redondos de una pulgada y media, que permite realizar dobleces hasta 45 grados para el taller Hierros Gama del municipio Palermo, que minimiza la intervención directa de los operarios en el proceso de doblado, reduciendo así peligros y padecimientos por sobre esfuerzos físicos. Se incrementa, además, la productiva del taller y se garantiza una mejor calidad del producto terminado, aminorando los tiempos y errores en el doblaje de los tubos.

El análisis de modelos nacionales permitió plantear 3 modelos morfológicos en donde se evaluó, complejidad, mantenimiento, economía y uso de factor de curvatura. Dando como resultado la alternativa 3, seleccionado por el método de la matriz de Pugh. La alternativa se evaluó por el cálculo ingenieril y simulación con el software de diseño SolidWorks.

La propuesta de diseño logro deformar un tubo redondo de 1 ½ “con el uso de un motor WEG a una potencia de 4 Hp a una velocidad de 30 rpm en un tiempo de 35 segundos para un tubo de prueba de 1 metro.

El diseño se fundamentó bajo criterios de factor de curvatura de 2,5, ya que no se empleó mandril, el cual definió una matriz de doblado de 240 mm con la forma diametral del tubo de 1 ½ “.

El diseño de la máquina dobladora de tubo, contempla un factor de seguridad de 1.5 para la estructura de soporte, en donde se comprobó por medio de simulación que la maquina no está sobre dimensionada, arrojando un valor de factor de seguridad de 2. Además, al usar factor de seguridad de 1,5 se logró determinar los módulos de sección de la estructura de soporte.

Se determinó por medio de la simulación, que al aplicar la carga de 123472.06 N y el momento torsional de 778,1N.m sobre el tubo de 1 ½ ", se logró una pendiente máxima de curvatura de 3,4 mm, el cual dicho valor corroboró con el dato usado de manera teórica de 5 mm una variación de 1.6 mm de diferencia, significando que el tubo si se puede deformar sin que este vuelva a su posición original.

Se determinó el costo de la maquina dobladora de tubo redondo de 1 ½" a un valor de 44'228.500 el cual le permite al taller Hierros gamma la decisión a futuro de construir la propuesta de diseño ya que en sus gastos mensuales promedio de \$ 712.000, se puede recuperar la inversión en menos de un año, adicional puede prestar el servicio de doblado en el municipio de Palermo.

5. Bibliografía.

AlcaldiaNeiva.(2021). *Economía*.

<https://www.alcaldianeiva.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

Alsimet. (2020). *El doblado de tubo de metal: Tipos y aplicaciones | Alsimet*.

<http://alsimet.es/es/noticias/doblado-de-tubo-de-metal>

Bisterov, I., Speidel, A., Mitchell-Smith, J., & Clare, A. T. (2021). Implications of vector change in electrochemical jet processing. *Manufacturing Letters*, 27, 82-86.

<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.01.002>

Bosch. (2016, mayo 30). Los criterios para seleccionar un motor eléctrico asíncrono.

Roydisa. <https://www.roydisa.es/archivos/3012>

Brand, J. J. G. (2018). *Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa coldidacticas ltda*. 103.

Caldedero. (2008). *Doblado- Sena*.

Caporusso, alessandro. (2019). *Máquina curvadora de tubos con mandril de curvado que tiene una estructura portante especialmente resistente a las tensiones de trabajo*.

Caporusso,Alessandro. (2007). *Método para doblar un tubo utilizando una máquina dobladora de tubos que comprende un mandril* (Patent N.º ES-2399067_T3).

- CCB. (2015). *Caracterizacion_de_las_cadenas_productivas_DEF.pdf*.
https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2886/623_2006_4_11_11_6_19_Caracterizacion_de_las_cadenas_productivas_DEF.pdf?sequence=1
- Cuadrado. (2012). *Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión*.
- Cuero, A. F. L. (2018). *Diseño de un prototipo de curvadora de perfiles para la empresa estructuras metalicas acabados industriales S.A.S*. 76.
- Del Fabro, G. (2012). *Máquina curvadora para curvar barras de metal, tales como piezas redondas de refuerzo o similares* (Patent N.º ES2588367T3).
- Fierro. (2013). *Fabricación con tubos de acero*.
- Ghiotti. (2016). *Aparato para mejorar la calidad del doblado de tubos y método que usa ese aparato* (Patent N.º ES-2745984_T3).
- González, A. (2016). *Máquina y método para curvado semicontinuo en frío de perfiles de baja ductilidad* (Patent N.º ES2555703B1.pdf).
- González, R. (2012). *Matriz de Pugh: Ayuda a la toma de decisiones: PDCA Home*.
<https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/>
- Groover, E. A. W. (1999). *Fundamentals of modern manufacturing*. 536.
- Heatylab. (2020). *Cálculo del tubo de flexión. Radios de tubos curvados*.
<https://heatylab.com/es/calculation-of-the-bending-tube-radii-of-bend-pipes/>
- Jiang, Z., Zhan, M., Yang, H., Xu, X., & Li, G. (2011). Deformation Behavior of Medium-strength TA18 High-pressure Tubes During NC Bending with Different Bending Radii. *Chinese Journal of Aeronautics*, 24(5), 657-664.
[https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(11\)60077-0](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(11)60077-0)
- Lesmes, J. (2018). *Sector metalmecánico el más grande en Colombia*.
<https://www.metalmecanica.com/temas/Sector-metalmecanico,-el-de-mayor-proyeccion-en-Colombia,-Fedemetal+127281?pagina=1>

- Mejía, A. M. M. (2009). *Diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubería redonda*. 2009, 116.
- Mott., R. L. (2012). *Diseño de Elementos de Máquinas—4ta Edición* -.
- Pipe Fabrication Institute Engineering Committee. (2012). *Pipe bending methods, tolerances, process and material requirements*.
- Simonetto, E., Ghiotti, A., & Bruschi, S. (2017). Dynamic detection of tubes wrinkling in three roll push bending. *Procedia Engineering*, 207, 2316-2321.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.1001>
- Staminc. (2021). *Rotary Draw Bending*. STAM. <https://staminc.com/services/rotary-draw-bending/>
- Tecnocurve. (2021). *Doblado de tubo—Importancia del radio de curvatura—Tecnocurve*.
<https://www.tecnocurve.es/blog/2019/03/26/curvado-de-tubo-la-importancia-del-radio-de-curvado/>
- Uribe, E. A. W. (2003). *Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos*. 81.
- Valencia, N. A., & Escobar, A. B. (2014). *Grupo de trabajo Laura Manuela Arce Cardona*. 109.
- Vatter, P. H., & Plettke, R. (2013). Process Model for the Design of Bent 3-dimensional Free-form Geometries for the Three-roll-push-bending Process. *Procedia CIRP*, 7, 240-245. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.041>
- Vorkov, V., García, A. T., Rodrigues, G. C., & Duflou, J. R. (2019). Data-driven prediction of air bending. *Procedia Manufacturing*, 29, 177-184.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.124>
- WEG - *Selección de Motores Eléctricos*. (s. f.). Recuperado 25 de mayo de 2021, de http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp

-
- Yang, H., Li, H., Zhang, Z., Zhan, M., Liu, J., & Li, G. (2012). Advances and Trends on Tube Bending Forming Technologies. *Chinese Journal of Aeronautics*, 25(1), 1-12. [https://doi.org/10.1016/S1000-9361\(11\)60356-7](https://doi.org/10.1016/S1000-9361(11)60356-7)
- Zuluaga, D. (2019). *Máquina dobladora de tubos 1 ½''*.

6. Anexos.

6.1 Anexo. Tabla comparativa de modelos nacionales.

ITEM DE ANALISIS	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5.	PROPUESTA DE DISEÑO
DISEÑO - AUTOR-FECHA	Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos- Edgar alexander Uribe- 2003	Diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubería redonda- Andrés Arias y María Mejía, 2009	Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa coldidacticas Ltda. Juan José Gil Brand- 2018	Diseño de un prototipo de curvadora de perfiles para la empresa estructuras metalicas acabados industriales S.A.S- Andres Lobon Cuero- 2018	Máquina dobladora de tubo 1 1/2"- Daniel Alberto Zuluaga-2019	Diseño y simulación de una maquina dobladora de tubo redondo de 1-½ '' para el taller Hierros Gama del Municipio de Palermo.- Luis Sebastian Gomajoa C- 2021
MECANISMO DE DODLADO	Doblado manual, con sistema 4 barras.	Doblado por estiramiento con sistema hidráulico.	Doblado hidráulico con programación de PLC.	Doblado manual por gato hidráulico de 3 toneladas.	Dobladora hidráulica tipo industrial.	Doblado por gato hidráulico y por tracción rotativa.
TUBO DE DOBLADO	Tubo de 3/4" de espesor 2,48mm , material de Astm 500 grado C.	Tubo de 1" de espesor 2,5mm , material de Astm 500 grado C.	Tubo de 38,1 mm de espesor 1,5mm , material de Astm 500 grado C.	Se analizó tubo de 3,2 1/2, 2 y 1 1/2 ". Material de Astm 500 grado C.	Se analizó tubo de 1" y 3 ". Material de Astm 500 grado C. Espesor 2.5mm.	Tubo de 1 1/2" de espesor 1,5 mm , material de Astm 500 grado C.
VARIABLES DE DISEÑO	Distancia de pivote 5cm, Potencia de doblado: tipo manual, Fuerza de doblado 800N.	Potencia de 1HP, Revoluciones de trabajo 1800RPM, tamaño de piezas, Fuerza de doblado 4087N, Distancia e pivote 192mm. Diámetro de dado de doblado 203mm.	Potencia 0,78Hp, Momento de doblado 487,52N.m, Fuerza de doblado 25491N, Diámetro de doblado 153mm,	Diámetro de doblado 355mm, Fuerza de doblado 5679,58N.	Fuerza de doblado 15729,123N.	Potencia de 3,93 Hp., Fuerza de doblado 6484,54N, Diámetro de doblado 240mm, Rpm de giro 30Rpm.,
REQUERIMIENTO OPERATIVO	Se requiere dos personas.	Se requiere una persona.	Se requiere una persona.	Se requiere dos personas.	No se especifica.	Se requiere una persona.
VELOCIDAD DE DOBLADO	Proceso lento.	No se especifica.	Tiempo de doblado 6 segundos, con una velocidad de salida de 35,5 rpm.	Velocidad lenta.	Velocidad de giro 0,011 m/s., Con un tiempo de 1,5 minutos.	Velocidad de trabajo 30 Rpm.
NOVEDAD DEL DISEÑO	Implementación de un sistema graduable con el acoplador, ya que dispone de ranuras hasta llegar a un ángulo menor de 180°. Se logró construir a un costo de 293.300 COP.	El diseño tiene agarres para el tubo, Usa un cilindro hidráulico para sutejar el tubo y otro cilindro para doblar el tubo. Su costo fue de 4'500.000. COP.	El diseño consta de varios pulsadores para 30, 45, 90 y 180 °. Cuenta con varios Encoder. Contiene una programación por PLC. Su costo fue de 14'995.000. COP.	El diseño cuenta con un timón de mano, el cual hace el avance, según el giro del timón. Se construyó a un costo de 1'757.392 COP.	Se empleó una bomba hidráulica, Todo los elementos los dia la empresa., no se conoce precio.	Se empleó una caja reductora, Se empleó un gato hidráulico. Graduación de la matriz de apoyo y matriz movil,

Fuente: Propia.

6.2 Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.

Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS METALTUB ESTRUCTURAL						
ASTM A500		Resistencia a la Fluencia mínima		Resistencia a la Tracción mínima		Elongación mínima
		MPa	psi	MPa	psi	%
Redondo	Grado A	230	33000	310	45000	25
	Grado C	315	46000	425	62000	21
Cuadrado y Rectangular	Grado A	270	39000	310	45000	25
	Grado C	345	50000	425	62000	21

TOLERANCIAS	
Longitud ≤ 6.5m	-6mm, +13mm
Longitud > 6.5m	-6mm, +19mm
Espesor de pared	± 10%

Para otras tolerancias remítase a la norma ASTM A 500 o NTC 4526

Metaltub Tubería Estructural Redonda

[Acabado negro y galvanizado]



REFERENCIA			ESPEORES EN MILIMETROS										UNIDAD DE EMPAQUE		
Tubos Redondos [*]			1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0		10.0	12.0
Díametro Nominal	Díametro Externo (pulg)	Díametro Externo (mm)	Peso Teórico Calculado [kg / m]												
1-1/2"	1.89"	48 mm	1,78	2,35		3,45									91
			1,77	2,34		3,44									
2"	2.36"	60 mm		2,94	3,64										61
				2,93	3,63										
2-1/2"	2.87"	73 mm		3,58	4,44										37
				3,57	4,43										
3"	3-1/2"	89 mm		4,37	5,43	6,48									37
				4,36	5,42	6,47	8,54								
4"	4-1/2"	114.3mm			6,99	8,35									19
					6,97	8,33	11,04								
4"	4-1/2"	114.3mm							16,26						1
---	6"	152.4mm					14,92		22,09						1
8"	8-5/8"	219.1mm								29,05					1
										42,21					1
10"	10-3/4"	273.1mm									46,43*				1
											59,25				1
12"	12-3/4"	323.9mm										62,89*			1
												78,12	93,15*		1

Estructural Galvanizado A500 Grado C
 Estructural Negro A500 Grado C
 Estructural Negro A500 Grado A

*Producción bajo pedido

Fuente: Ficha Técnica METALTUB Tubería Estructural y Cerramiento.

6.3 Anexo. Selección del rpm del motor y el número de escalones

Para determinar el rpm del motor se prueba con que rotación sincrónica se puede lograr el menor número de escalones para reducir la velocidad del motor y llegar a 30 rpm.

Usando la siguiente **tabla 6.1** según la rotación,(Bosch, 2016):

Tabla 6. 1 Rotación sincrónica.

Motor	Rotación sincrónica	
	60 Hz	50 Hz
2 polos	3.600 rpm	3.000 rpm
4 polos	1.800 rpm	1.500 rpm
6 polos	1.200 rpm	1.000 rpm
8 polos	900 rpm	750 rpm

Fuente: Roydisa, Bosch Company

6.3.1 Prueba con 900 rpm

La relación de transmisión general sería empleada un motor de 1800 rpm/min con una relación requerida de 30rpm

$$Relación = \frac{900 \frac{rpm}{min}}{30 \frac{rpm}{min}} = 30$$

Revisando un conjunto de transmisión que lleve una correa de motor a caja (2-4) de caja a engranaje abierta de (4-6) y engranajes en la caja de (3-1)

Se dejará una estimación de 3-6, 3-4 ya que un cambio de 2^a6 puede ser una pieza de mayor tamaño. Se da inicio; para determinar el número de árboles o ejes con una estimación desde 3-4

1 escalón motor y caja $3 a 4 = 3 a 4$

2 escalón motor y caja $3^2 a 4^2 = 9 a 16$

3 escalón motor y caja $3^3 a 4^3 = 27 a 64$

De acuerdo con lo anterior el valor que se requiere una relación de 30 y este valor está en el rango de 3 escalones.

6.3.2 Prueba con 1800 rpm

La relación de transmisión general sería empleada un motor de 1800 rpm/min con una relación requerida de 30rpm

$$Relación = \frac{1800 \frac{rpm}{min}}{30 \frac{rpm}{min}} = 60$$

Revisando un conjunto de transmisión que lleve una correa de motor a caja (2-4) de caja a engranaje abierta de (4-6) y engranajes en la caja de (3-1)

Se dejará una estimación de 3-6, 3-4 ya que un cambio de 2^a6 puede ser una pieza de mayor tamaño. Se da inicio; para determinar el número de árboles o ejes con una estimación desde 3-4.

1 escalón motor y caja $3 a 4 = 3 a 4$

2 escalón motor y caja $3^2 a 4^2 = 9 a 16$

3 escalón motor y caja $3^3 a 4^3 = 27 a 64$

De acuerdo con lo anterior el valor la relación esta 60 y se encontró en el rango de 3 escalones.

6.3.3 Prueba con 3600 rpm

La relación de transmisión general sería empleada un motor de 1800 rpm/min con una relación requerida de 30rpm

$$Relación = \frac{3600 \frac{rpm}{min}}{30 \frac{rpm}{min}} = 120$$

Revisando un conjunto de transmisión que lleve una correa de motor a caja (2-4) de caja a engranaje abierta de (4-6) y engranajes en la caja de (3-1)

Se dejará una estimación de 3-6, 3-4 ya que un cambio de 2ª6 puede ser una pieza de mayor tamaño. Se da inicio; para determinar el número de árboles o ejes con una estimación desde 3-4.

1 escalón motor y caja $3 a 4 = 3 a 4$

2 escalón motor y caja $3^2 a 4^2 = 9 a 16$

3 escalón motor y caja $3^3 a 4^3 = 27 a 64$

4 escalón motor y caja $3^4 a 4^4 = 81 a 256$

De acuerdo con lo anterior el valor la relación esta 120 y se encuentra en el rango de 4 escalones

6.3.4 Selección del motor por plataforma WEG.

Con el valor de potencia requerida de 3,93 Hp, se entró a la plataforma de WEG(WEG - Selección de Motores Eléctricos, s. f.), con una frecuencia de 60 Hz,4 polos, voltaje 220V- 440V y 1800 Rpm para escoger el siguiente motor por la **figura 6.1**:

Figura 6. 1 Ingreso para seleccionar motor en pagina WEG.

Línea de Producto: Industriales Triásicos > V2Z Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IEC

Norma	Frecuencia	Voltaje nominal	Polos	Potencia		Carcasa	Ip /In	Par de arranque	Par máxima	Momento de inercia	Tiempo de rotor bloqueado
				KW							
+	IEC	60 Hz	4	3.00		112M	7.8	260%	350%	0.01557 kgm ²	27 s
+	IEC	60 Hz	4	3.00		112M	7.8	260%	350%	0.01557 kgm ²	27 s
+	IEC	60 Hz	4	3.00		112M	7.8	260%	350%	0.01557 kgm ²	27 s
+	IEC	60 Hz	4	3.00		L100L	9.0	460%	440%	0.01200 kgm ²	18 s
+	IEC	60 Hz	4	3.00		L100L	9.0	460%	440%	0.01200 kgm ²	18 s
+	IEC	60 Hz	4	3.00		L100L	9.0	460%	440%	0.01200 kgm ²	18 s

Exportar Datos Eléctricos | Exportar Datos Mecánicos

Norma

- IEC

Frecuencia

- 50 Hz
- 60 Hz

Voltaje nominal

- 206-230-460V
- 220-380-440V
- 220-380V
- 230-440V
- 230-460V
- 230-480V
- 240-415V
- 380-660V
- 400-690V
- 415V
- 440V
- 460V
- 480V
- 690V

Número de polos

- 2 Polos
- 4 Polos
- 6 Polos
- 8 Polos

Potencia

- 0.75 KW
- 1.10 KW
- 1.50 KW
- 2.20 KW
- 3.00 KW
- 3.70 KW
-

Fuente: Weg.

De donde se obtuvo la siguiente hoja de cotización, según la figura 6.2:

Figura 6. 2. Hoja de datos del motor seleccionado.

		Nr.:	
		Fecha: 25-MAY-2021	
HOJA DE DATOS Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula			
Cliente	:		
Línea del producto	:	W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3	
Carcasa	:	112M	
Potencia	:	3 kW	
Frecuencia	:	60 Hz	
Polos	:	4	
Rotación nominal	:	1760 rpm	
Deslizamiento	:	2,22 %	
Voltaje nominal	:	220/380/440 V	
Corriente nominal	:	11,1/6,45/5,57 A	
Corriente de arranque	:	86,9/50,3/43,4 A	
Ip/In	:	7,8	
Corriente en vacío	:	6,20/3,59/3,10 A	
Par nominal	:	16,3 Nm	
Par de arranque	:	260 %	
Par máxima	:	350 %	
Categoría	:	---	
Clase de aislación	:	F	
Elevación de temperatura	:	80 K	
Tiempo de rotor bloqueado	:	27 s (caliente)	
Factor de servicio	:	1,25	
Régimen de servicio	:	S1	
Temperatura ambiente	:	-20°C - +40°C	
Altitud	:	1000 m	
Protección	:	IPW55	
Masa aproximada	:	42 kg	
Momento de inercia	:	0,01557 kgm ²	
Nivel de ruido	:	56 dB(A)	
	Delantero	Trasero	
Rodamiento	6207 ZZ	6206 ZZ	
Intervalo de lubricación	---	---	
Cantidad de grasa	---	---	
	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
	100%	0,79	80,5
	75%	0,70	80,0
	50%	0,58	87,2
Observaciones:			
Rendimiento de acuerdo con el método indirecto de IEC 60034-1:2007 con pérdidas aleatorias de la carga determinadas de las medidas.			

Fuente: Weg.

6.4 Anexo. Relación de transmisión.

Relación de transmisión (i)		
○		
Tabla 7-5 Valores recomendados de la relación de transmisión (Ocampo, 1993)		
Tipo de transmisión	Valor medio	Valor máximo
Dentada <u>cerrada</u> con ruedas <u>cilíndricas</u> de dientes:		
• Rectos	3 – 4	10
• Helicoidales	3 – 5	10
• Bihelicoidales	4 – 6	10
Dentada <u>abierta</u> con ruedas <u>cilíndricas</u>	4 – 6	20
Dentada <u>cerrada</u> con ruedas <u>cónicas</u> de dientes <u>rectos</u>	2 – 3	6
Por cadena	2 – 4	7
Por correa:		
• Plana	2 – 4	6
• Plana con rodillo tensor	3 – 5	8
• Trapezoidal	2 – 4	7

Capítulo 1 Introducción a los accionamientos de máquinas

Fuente: Introducción a los accionamientos de máquinas.

6.5 Anexo. Selección de materiales para estructura

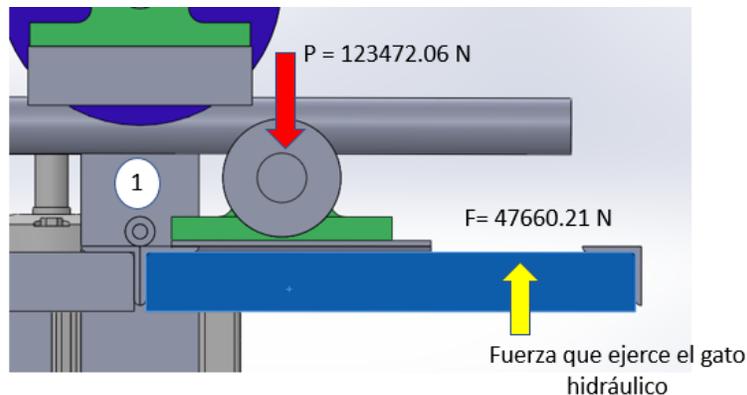
Para el análisis y selección de materiales para la estructura se determinó de las partes críticas que se someten a una mayor carga:

- Soporte móvil, debido a que se ubica en el la carga por el gato hidráulico y la matriz móvil.
- Paralares de la matriz de doblado.

6.5.1 Análisis estático y selección de material para soporte móvil.

Se evaluó por análisis estático y luego se aplicó teorías de diseño como la de esfuerzo máximo para seleccionar el material. En la siguiente **figura 6.3** se plasma el análisis estático para el miembro estructural angular que recibe la mitad de la carga, ya que por simetría la carga se apoya en dos miembros del soporte móvil.

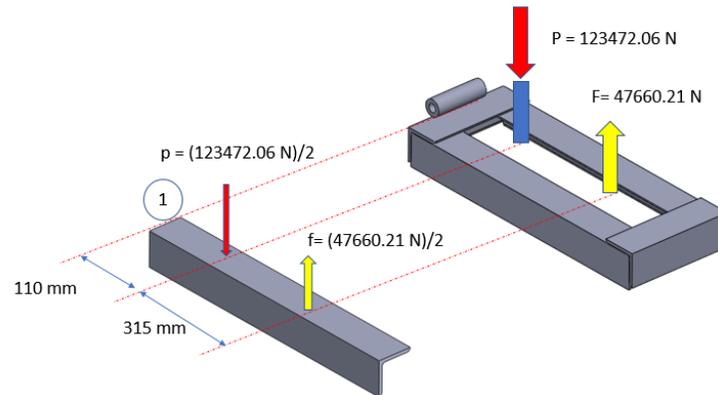
Figura 6. 3 Vista lateral con las cargas P y F



Fuente: Autor.

En la **figura 6.4** se observó como las cargas P y F tienen solo un punto de apoyo, que usó como referencia y ubicar las distancia hasta el punto 1. Ahora, desde una vista isométrica del cuerpo se ubican las cargas, para proceder analizar estáticamente.

Figura 6. 4 Distribución de cargas a un miembro lateral.



Fuente: Autor.

Para determinar el material del perfil y la dimensión planteada se tomó como variable el módulo de sección del material (S) y seleccionando de tabla un valor superior al hallado. Para ello se evaluó un tramo de la base móvil en el punto 1, debido a que no hay cargas torsionales se usará la (de esfuerzos por flexión.

$$\text{sumatoria antihoraria } MA = -Px \ 110 \text{ mm} + Fx \ 35 \text{ mm}$$

$$MA = 715519.7 \text{ N.mm}$$

Aplicando la ecuación de esfuerzo por flexión:

$$\delta_{\max} = \frac{M}{S}$$

Partiendo del método por resistencia de fluencia para esfuerzos uniaxiales. (Mott., 2012, p. 194)

$$\delta_{\max} < \delta_d \leq \frac{S_y}{N}$$

Se consideró un factor de seguridad al diseño.

$$N = 1.5 \text{ a } 2.5$$

Según Mott, este factor aplica para lo siguiente:

Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos del diseño. (Mott., 2012, p. 185).

En cual se tomó el valor de 1.5.

$$N = 1.5$$

Ahora tenemos:

$$\delta_{\max} = \frac{Sy}{N}$$

$$\text{Con } Sy = 250 \text{ Mpa}$$

El valor anterior se basó en el esfuerzo de fluencia del material, tomado del Anexo. (6.2 Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.). En donde se selecciona el ángulo de acero y se deja como variable el módulo de sección S.

$$\frac{M}{S} = \frac{Sy}{N}$$

$$\frac{MxN}{Sy} = S$$

$$S = \frac{715519.7N \cdot mm \times 1.5}{250 \frac{N}{mm^2}}$$

$$S = 4293.11 \text{ mm}^3$$

Con el valor anterior se tomó el valor que esté por encima de este, ya que si se usa uno menor no se tendrá en cuenta la carga máxima en su totalidad, por lo tanto, se procede con un valor que esté por encima del calculado en tabla.

Para entrar a tabla (6.6 Anexo. Tabla selección ángulo de acero L.).

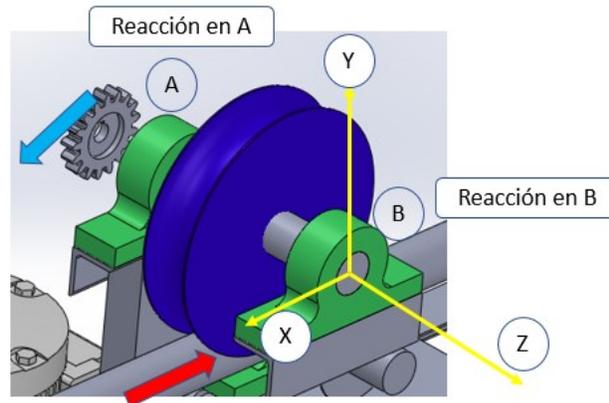
$$S = 4.29 \times 10^3 \text{ mm}^3 = 4.29E^{+03} \text{ mm}^3$$

Se toma el perfil de acero estructural A 36 con una referencia de: 51 x 51 x 9.5 con $S = 5.7 E^{03} \cdot mm^3$

6.5.2 Parales de matriz de doblado

Se procede a calcular las reacciones en los apoyos, ya que estas se ubican sobre los parales, debido a que hay una torsión por la matriz de doblado, parte de la carga aplicada se traslada a los parales de la estructura como se aprecia en la **figura 6.5**.

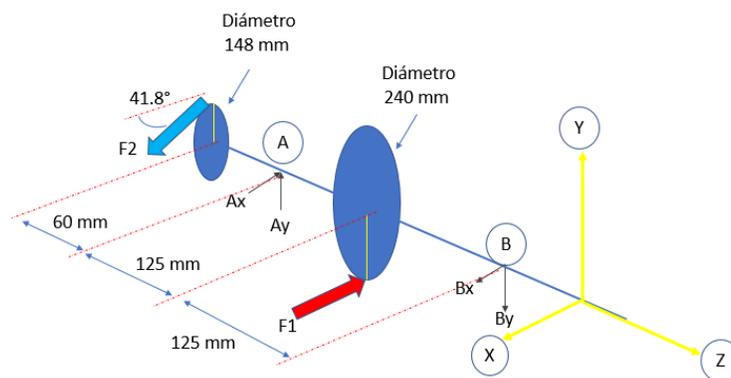
Figura 6. 5 Ubicación de cargas en el punto A y B.



Fuente: Autor.

En donde se realizó el diagrama estático para ubicar distancias, de las chumaceras, matriz de doblado y piñón que se muestra en la **figura 6.6**.

Figura 6. 6 Diagrama estático para determinar las recciones de A y B.



Fuente: Autor.

$$F_1 = 6484,24 \text{ N}$$

En el diagrama se aprecia como la fuerza F_1 , ejerce una carga sobre los paraleles para ello, se requiere en donde se presentan mayores cargas para seleccionar el material del paral.

Momentos en el eje X:

$$-F_1 \times 120 \text{ mm} - F_2 \times \frac{148}{2} \text{ mm} = 0$$

$$-6484,24 \text{ N} \times 120 \text{ mm} - F_2 \times \frac{148}{2} \text{ mm} = 0$$

$$F_2 = -10514.98 \text{ N}$$

Para determinar las reacciones de A y B se realiza sumatoria de momentos en A con el eje Y.

Momentos en A en el eje Y:

$$-B_x \times 250 \text{ mm} + F_1 \times 125 \text{ mm} + F_2 \times \cos 41,8^\circ \times 60 \text{ mm} = 0$$

$$-B_x = \frac{6484,24 \text{ N} \times 250 \text{ mm} - (-10514,98 \text{ N}) \times \cos 41,8 \times 60}{250 \text{ mm}}$$

$$-B_x = -4602.96 \text{ N}$$

$$B_x = 4602.96 \text{ N}$$

Momentos en el eje Z en A:

$$-B_y \times 250 \text{ mm} + F_2 \times \text{sen} 41,81 \times 60 \text{ mm} = 0$$

$$-B_y = - \frac{-(10514.98 \text{ N}) \times 60 \times \text{sen} 41,81}{250 \text{ mm}}$$

$$B_y = -1682,38 \text{ N}$$

Para determinar A_y :

$$-F_2 \times \text{sen} 41,81 + A_y - B_y = 0$$

$$A_y = B_y + F_2 \times \text{sen}41,81$$

$$A_y = (-1682,38 \text{ N}) + (-10514,98 \text{ N} \text{ sen}41,81)$$

$$A_y = -8692,32 \text{ N}$$

Para determinar A_x :

$$F_2 \times \text{cos}41,81 - A_x + B_x = 0$$

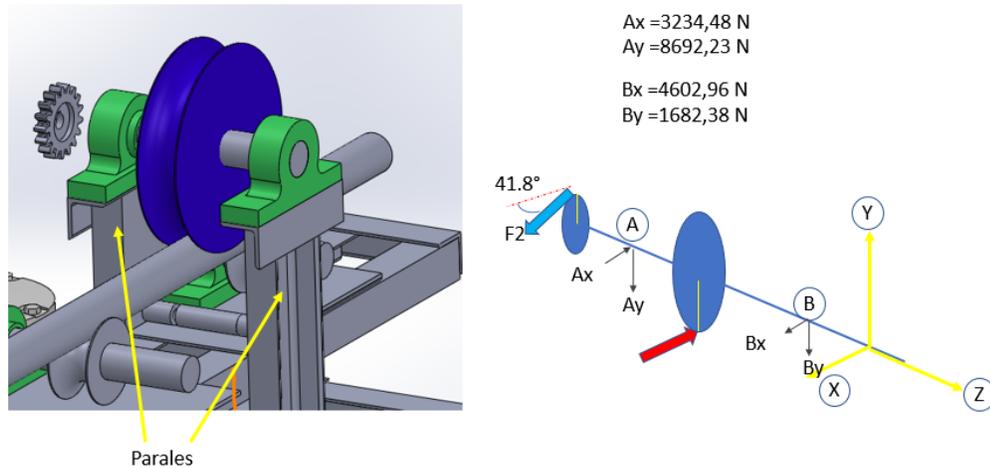
$$(-10514,98 \text{ N}) \times \text{cos}41,81 - A_x + 4602,96 \text{ N} = 0$$

$$-A_x = -3234,48 \text{ N}$$

$$A_x = -3234,48 \text{ N}$$

Ahora, el resultado de las reacciones ubicadas nuevamente en el diagrama estático nos permite relacionar cual paral se somete grandes cargas, como se ve en la **figura 6.7**.

Figura 6.7 Valor de reacciones en A y B para definir paral con mayor carga.



Fuente: Autor.

Se procede a realizar el mismo procedimiento del cálculo anterior y analizamos la pieza por flexión, ya que esta debe ser lo más rígida posible para evitar desviar el eje que soporta la matriz de doblado.

$$\delta_{\max} < \delta_d \leq \frac{S_y}{N}$$

Se considera un factor de seguridad al diseño.

$$N = 1.5$$

Ahora tenemos:

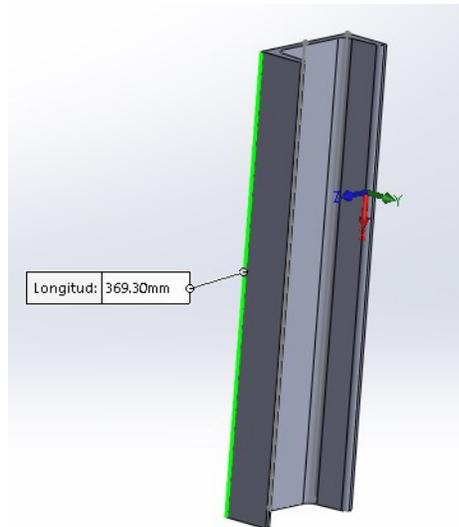
$$\delta_{\max} = \frac{Sy}{N}$$

Con $Sy = 250 \text{ Mpa}$ de anexo (6.7 Anexo. Propiedades de los aceros.).

El valor anterior se basó en el esfuerzo de fluencia del material, tomado del (6.2 Anexo. Tabla de tubo ASTM 500 grado C.). En donde se selecciona el perfil en C y se deja como variable el módulo de sección S . Como el punto con mayor carga es en B, se toma la fuerza Bx , para determinar el momento M se requiere la longitud del par de la figura 6.8:

$$M = Bx \cdot Distancia$$

Figura 6. 8 Distancia del paral.



Fuente: Autor.

$$\frac{M}{S} = \frac{Sy}{N}$$

$$\frac{(Bx. Distiancia)xN}{Sy} = S$$

$$S = \frac{(4602,96 N. 369.3mm) x 1.5}{250 \frac{N}{mm^2}}$$

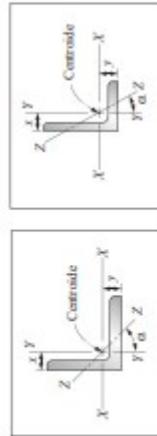
$$S = 10199.23 mm^3$$

Con el valor anterior se tomó el valor que esté por encima de este, ya que si se usa uno menor no se tendrá en cuenta la carga máxima en su totalidad, por lo tanto, se procede con un valor que esté por encima del calculado en tabla.

Para entrar a tabla $S = 1.01x 10^4 mm^3 = 1.01E^{+04}$.

Se toma el perfil de acero estructural A 36 con una referencia de: $c 80 x 6.1 S = 1.8 E^{04}$. Según el anexo. (6.8 **Anexo. Tabla selección para perfil en C.**).

6.6 Anexo. Tabla selección para angulo de acero L.



A-5 (SI) Propiedades de ángulos de acero (perfiles L) en unidades SI.

Ref.	Perfil (mm) (mm)	Masa por m (kg/m)	Peso por m (N/m)	Area, A (mm ²)	Eje X-X'			Eje Y-Y'			Eje Z-Z'		
					I _x (mm ⁴)	S _x (mm ³)	y (mm)	I _y (mm ⁴)	S _y (mm ³)	x (mm)	I _z (mm ⁴)	r (mm)	α (grados)
a	L 203 × 203 × 25.4	76.3	749	9740	3.71E+07	2.59E+05	59.9	3.71E+07	2.59E+05	59.9	39.6	45.0	
b	L 203 × 203 × 12.7	39.7	390	5060	2.03E+07	1.37E+05	55.1	2.03E+07	1.37E+05	55.1	40.4	45.0	
c	L 203 × 102 × 25.4	55.9	549	7160	2.80E+07	2.28E+05	77.0	4.83E+06	6.40E+04	26.4	21.4	13.9	
d	L 203 × 102 × 12.7	29.3	288	3740	1.61E+07	1.22E+05	72.1	2.81E+06	3.52E+04	21.7	21.9	14.9	
e	L 152 × 152 × 19	42.9	420	5660	1.17E+07	1.09E+05	45.0	1.17E+07	1.09E+05	45.0	20.7	45.0	
f	L 152 × 152 × 9.5	22.2	217	2830	6.41E+06	5.75E+04	41.1	6.41E+06	5.75E+04	41.1	30.2	45.0	
g	L 152 × 102 × 19	35.0	343	4450	1.62E+07	1.02E+05	52.8	3.59E+06	4.84E+04	27.4	21.8	23.2	
h	L 152 × 102 × 9.5	18.2	178	2310	5.58E+06	5.41E+04	49.3	2.01E+06	2.59E+04	23.9	22.1	24.1	
i	L 102 × 102 × 12.7	18.9	185	2420	2.30E+06	3.21E+04	30.0	2.30E+06	3.21E+04	30.0	19.7	45.0	
j	L 102 × 102 × 6.4	9.79	96.0	1250	1.25E+06	1.69E+04	27.4	1.25E+06	1.69E+04	27.4	19.9	45.0	
k	L 102 × 76 × 12.7	16.5	162	2100	2.69E+06	3.06E+04	33.5	9.98E+05	1.80E+04	20.9	16.1	28.5	
l	L 102 × 76 × 6.4	8.56	83.9	1090	1.14E+06	1.62E+04	31.0	5.54E+05	9.59E+03	18.4	16.2	29.2	
m	L 76 × 76 × 12.7	13.9	136	1770	9.16E+05	1.74E+04	23.6	9.16E+05	1.74E+04	23.6	14.7	45.0	
n	L 76 × 76 × 6.4	7.28	71.4	929	5.12E+05	9.33E+03	21.2	5.12E+05	9.33E+03	21.2	14.9	45.0	
o	L 76 × 51 × 12.7	11.5	112	1460	7.99E+05	1.64E+04	27.4	2.78E+05	7.70E+03	14.7	10.8	22.4	
p	L 76 × 51 × 6.4	6.09	59.7	774	4.54E+05	8.87E+03	24.9	1.62E+05	4.23E+03	12.4	10.9	23.6	
q	L 51 × 51 × 9.5	6.92	67.9	884	1.98E+05	5.70E+03	16.1	1.98E+05	5.70E+03	16.1	9.80	45.0	
r	L 51 × 51 × 6.4	4.78	46.9	699	1.44E+05	4.00E+03	14.9	1.44E+05	4.00E+03	14.9	9.83	45.0	
s	L 51 × 51 × 3.2	2.48	24.4	317	7.87E+04	2.11E+03	13.6	7.87E+04	2.11E+03	13.6	9.93	45.0	

6.7 Anexo. Propiedades de los aceros.

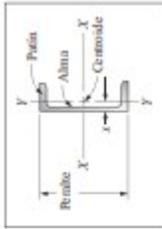
APÉNDICE 7 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Designación del material (número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
A36	$t \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21
A242	$t \leq 3/4$ pulg	70	480	50	345	21
A242	$t \leq 1\frac{1}{2}$ pulg	67	460	46	315	21
A242	$t \leq 4$ pulg	63	435	42	290	21
A500	Tubo estructural formado en frío, redondo o de otras formas					
	Redondo, grado A	45	310	33	228	25
	Redondo, grado B	58	400	42	290	23
	Redondo, grado C	62	427	46	317	21
	Otra forma, grado A	45	310	39	269	25
	Otra forma, grado B	58	400	46	317	23
	Otra forma, grado C	62	427	50	345	21
A501	Tubo estructural formado en caliente, redondo o de otras formas	58	400	36	250	23
A514	Templado y revenido, $t \leq 2\frac{1}{2}$ pulg	110-130	760-895	100	690	18%
A572	42, $t \leq 6$ pulg	60	415	42	290	24
A572	50, $t \leq 4$ pulg	65	450	50	345	21
A572	60, $t \leq 1\frac{1}{2}$ pulg	75	520	60	415	18
A572	65, $t \leq 1\frac{1}{2}$ pulg	80	550	65	450	17
A588	$t \leq 4$ pulg	70	485	50	345	21
A992	Perfiles W	65	450	50	345	21

Nota: ASTM A572 es uno de los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), y sus propiedades son similares a las del acero SAE J4106, especificadas por la SAE.

Diseño de elementos de máquinas Robert <Mott, apéndice a-13

6.8 Anexo. Tabla selección para perfil en C.



A-6 (SI) Propiedades de canales de acero American Standard (perfiles C) en unidades SI.

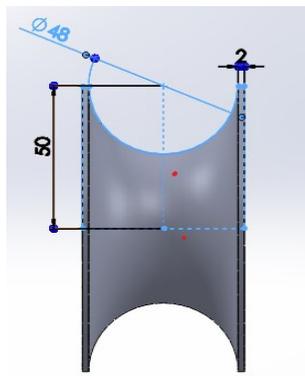
Ref.	Perfil (mm)	W (kg/m)	Área, A (mm ²)	Peralte, d (mm)	Espesor del alma, t _w (mm)	Pata		Eje X-X'		Eje Y-Y'		
						Ancho, b _f (mm)	Espeor, t _f (mm)	I _x (mm ⁴)	S _x (mm ³)	I _y (mm ⁴)	S _y (mm ³)	x (mm)
a	C 300 x 74	0.730	9480	381	18.2	94.4	16.5	1.08E+08	8.82E+05	4.58E+06	6.18E+04	20.3
b	C 300 x 60	0.584	7610	381	13.2	89.4	16.5	1.45E+08	7.62E+05	3.82E+06	5.47E+04	19.8
c	C 300 x 45	0.438	5690	305	13.0	80.5	12.7	6.74E+07	4.43E+05	2.13E+06	3.56E+04	17.1
d	C 300 x 37	0.365	4740	305	9.83	77.4	12.7	5.99E+07	3.93E+05	1.85E+06	3.00E+04	17.1
e	C 250 x 45	0.458	5690	254	17.1	77.0	11.1	4.29E+07	3.39E+05	1.64E+06	2.70E+04	16.5
f	C 250 x 30	0.292	3790	254	9.03	69.6	11.1	3.28E+07	2.59E+05	1.17E+06	2.15E+04	15.4
g	C 230 x 30	0.302	3790	229	11.4	67.3	10.5	2.53E+07	2.21E+05	1.00E+06	1.92E+04	14.8
h	C 230 x 22	0.219	2850	229	7.84	63.1	10.5	2.12E+07	1.85E+05	7.95E+05	1.60E+04	14.9
i	C 200 x 27.9	0.274	3560	203	12.4	64.2	9.91	1.83E+07	1.80E+05	8.20E+05	1.60E+04	14.4
j	C 200 x 17.1	0.168	2180	203	5.59	57.4	9.91	1.35E+07	1.33E+05	5.45E+05	1.27E+04	14.5
k	C 180 x 22	0.215	2790	178	10.6	58.4	9.30	1.13E+07	1.28E+05	5.70E+05	1.27E+04	13.5
l	C 180 x 14.6	0.143	1850	178	5.33	53.1	9.30	8.82E+06	9.98E+04	3.98E+05	1.01E+04	13.7
m	C 150 x 19.3	0.190	2470	152	11.1	54.8	8.71	7.20E+06	9.47E+04	4.37E+05	1.05E+04	13.1
n	C 150 x 12.2	0.120	1550	152	5.08	48.8	8.71	5.45E+06	7.13E+04	2.86E+05	8.60E+03	13.0
o	C 130 x 13	0.128	1700	127	8.26	47.9	8.13	3.70E+06	5.83E+04	2.60E+05	7.28E+03	12.1
p	C 130 x 10.4	0.102	1270	127	4.83	44.5	8.13	3.11E+06	4.90E+04	1.96E+05	6.10E+03	12.3
q	C 100 x 10.8	0.106	1370	102	8.15	43.7	7.52	1.91E+06	3.75E+04	1.77E+05	5.52E+03	11.7
r	C 100 x 8	0.0788	1020	102	4.67	40.2	7.52	1.60E+06	3.15E+04	1.30E+05	4.54E+03	11.6
s	C 80 x 8.9	0.0876	1140	76.2	9.04	40.5	6.93	8.62E+05	2.20E+04	1.25E+05	4.31E+03	11.6
t	C 80 x 6.1	0.0598	777	76.2	4.32	35.8	6.93	6.87E+05	1.80E+04	7.95E+04	3.21E+03	11.1

6.9 Anexo. Geometrías y parámetros.

6.9.1 Geometría de matriz de doblado.

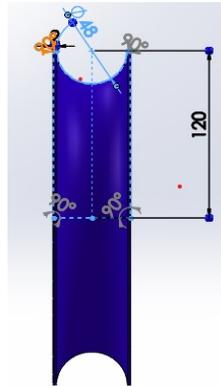
La geometría que se usó para sujetar los extremos del tubo corresponde al radio del tubo de $1\frac{1}{2}$ de pulgada según se evidencia en la siguiente **figura 6.9**, esta matriz se diseñó con el software de SolidWorks de donde se consideró como variable el diámetro del tubo de 48 mm, de igual forma solo se requiere medio círculo como base de apoyo del tubo, se tomó un radio de 50mm ya que no solo se usa la matriz como un punto de apoyo y que sirva para desplazar la pieza.

Figura 6. 9 Matriz de extremos.



Fuente: Propia.

La siguiente matriz de doblado si tiene dos medidas principales, que pueda alojar el tubo con un diámetro de 48 mm y que corresponda al dato obtenido en el numeral 2,2 características iniciales del tubo, con el fin de dar geometría a la pieza que ejerce el doblado.

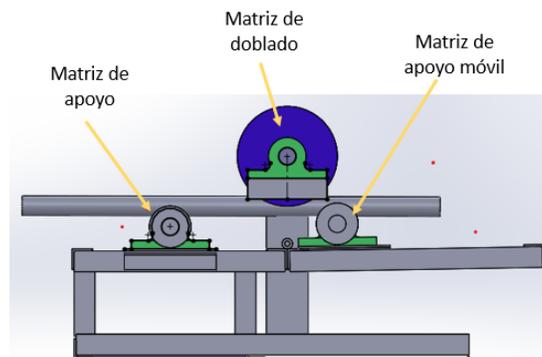
Figura 6. 10 Matriz dado doblador

Fuente: Propia.

La anterior **figura 6.10.** que fue dimensionando teniendo en cuenta los radios de curvatura, evitara que se formen arrugas para el tubo, su geometría es mayor que la de los apoyos debido a que no se usara mandril para insertar dentro del tubo.

6.9.2 Posicionamiento del tubo

El diseño desde una vista lateral (ver **figura 6.11**), toma las tres matrices para quedar totalmente alineadas, y en su extremo queda una de las tres matrices para realizar la elevación con el gato hidráulico. La elevación se realiza cada 5 milímetros ya que ejercer una elevación mayor a esta altura el área móvil tiende a frenar el sistema de doblado.

Figura 6. 11 Configuración de matrices de doblado.

Fuente: Propia.

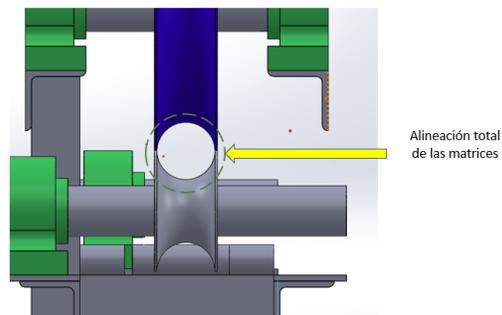
6.9.3 Sujeción del tubo de 1 ½”.

Para lograr la sujeción del tubo se debe contar con una matriz de apoyo y una matriz de apoyo móvil; el cual dichas matrices deben poseer un diseño con la forma del tubo (ver **figura 6.12**), en donde hacen un contacto con la superficie del tubo de 1 ½ “, luego en la otra matriz de apoyo móvil descansa el tubo para luego ser aplicada la fuerza del gato hidráulico de 5 toneladas y deformarlo 3,4 según el dato que nos arrojó la simulación.

Luego como ya está sujetado el tubo, la matriz de doblado que de igual forma tiene la forma del tubo en función del diámetro, se activa el motor para que se realice el doblado del tubo por tracción rotativa.

Tanto la matriz de doblado como las matrices de apoyo y la matriz móvil quedan totalmente centradas para que el tubo quede sujeto a las tres superficies y no permita el deslizamiento, debido a la elevación ejerza el soporte móvil. Para lograr la alineación se ubicó primero la matriz de doblado, y luego se ubicó las demás matrices de apoyo bajando la altura de la estructura hasta llegar ver un círculo completo de lado a lado.

Figura 6. 12 Alineación de las matrices para entrar el tubo.



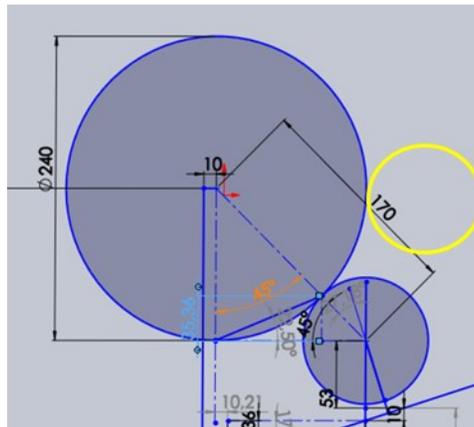
Fuente: Propia.

En la figura se puede apreciar que las matrices quedaron totalmente alineadas.

6.9.4 Criterio para estimar la altura de elevación de las matrices de apoyo

El Diseño partió con una medida de referencia para cumplir con el valor máximo de 45 y ubicar las piezas. De donde se consideró que al usar un doblado de 90 el rodillo o matriz móvil estará ubicada en un punto más elevado al que se muestra en la **figura 6.13**, con el círculo amarillo.

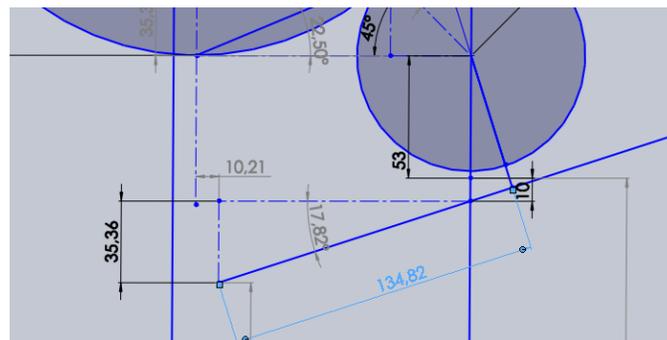
Figura 6. 13 Ejemplo a 90 grados.



Fuente: Autor.

Ahora como se quiere llegar a un ángulo máximo de 45 grados la matriz móvil se ubicó a una distancia para pivotar de 134,82mm como se aprecia en la siguiente **figura 6.14**:

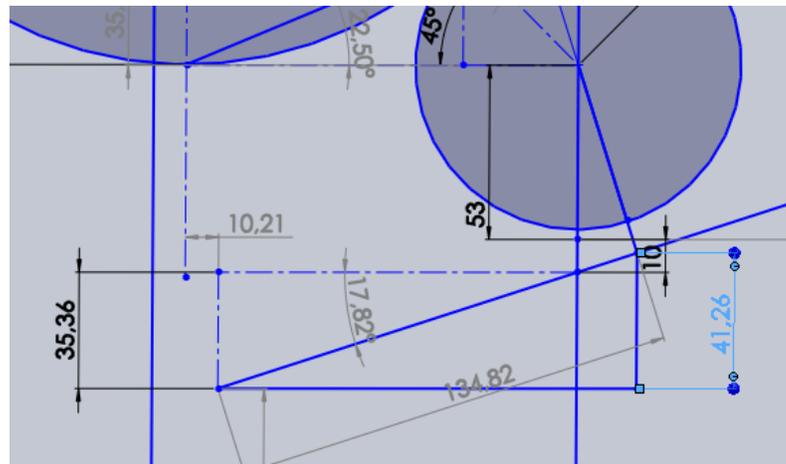
Figura 6. 14 Distancia de pivote de la matriz móvil.



Fuente: Autor.

Como el diseño tiene partes que alteran la altura en cuanto a chumaceras, perfiles, se ubicó las piezas con el fin de encontrar cuantos milímetros se tiene de elevación hasta llegar a los 45 grados según la **figura 6.15**. Se uso una vista lateral del diseño y se ubicó medidas para encontrar el valor de la altura máxima a la cual se puede llegar.

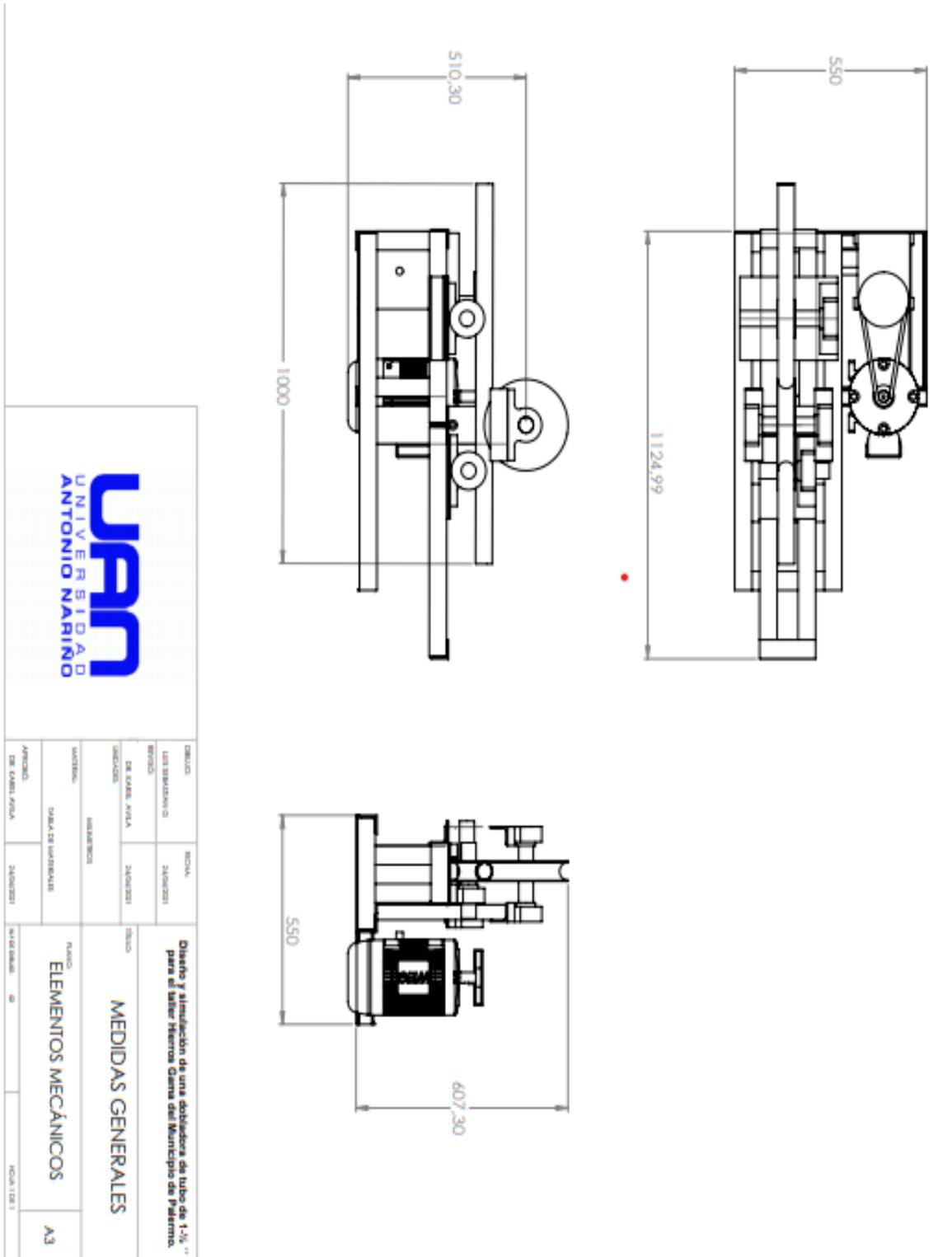
Figura 6. 15 Altura de elevación de la matriz móvil

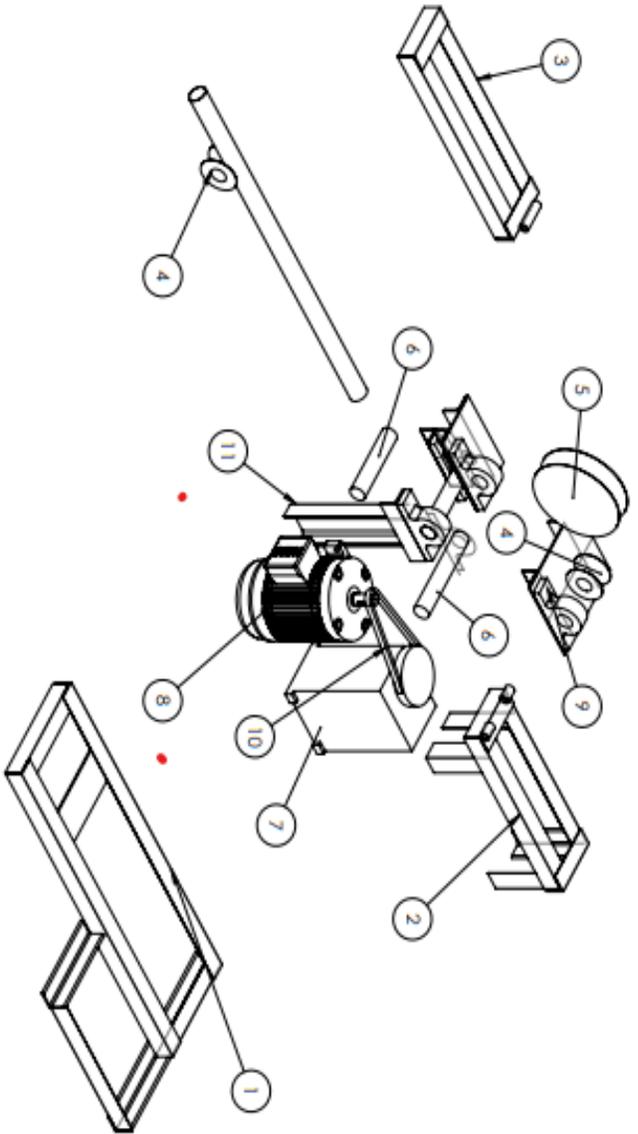


Fuente: Autor.

El diseño arrojó un valor de 35,36 mm que tiene de hasta que el rodillo quede horizontal y haga contacto con la matriz de doblado. Considerando que el cálculo ingenieril se basó en una altura de elevación del gato hidráulico de 5 mm, arrojó un promedio de 7 elevaciones controladas. Lo que indica que para un doblar un tubo a su punto máximo de 45 ° se requiere ocho pasadas.

6.10 Anexo. Planos y Medidas generales.





PIEZAS DEL CONJUNTO		6. EJES
1. BASE PRINCIPAL		7. CAJA REDUCTORA
2. SOPORTE MATRIZ FIJA		8. MOTOR
3. SOPORTE MATRIZ MOVIL		9. CHUMACERAS
4. MATRIZ DE SUJECION		10. POLEA
5. MATRIZ DE DOBLADO		11. PARRALES

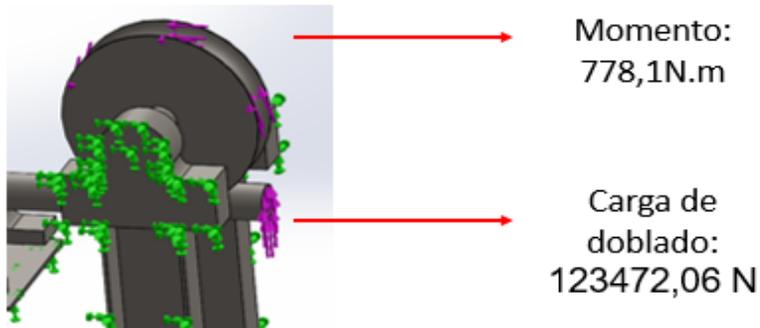
DISEÑO LUIS SERRANO 22/04/2011		REVISIÓN 22/04/2011	
DISEÑO DE KAREL AVILA 02/04/2011		REVISIÓN 02/04/2011	
MATERIALES MADERA		ENSAMBLE GENERAL	
MATERIAL TABLA DE MADERA		TÍTULO ELEMENTOS MECANICOS	
APLICACIÓN DE MANEJO MECANICO		AUTORES LS	
01/03/2011		HOJA 1 DE 1	

Diseño y simulación de una cobladora de tubo de 1-1/2" para el taller Herrero Gama del Municipio de Palermó.

6.11 Anexo. Aplicación de cargas en el software de Diseño SolidWorks

De la simulación se puede apreciar la aplicación de las cargas con los datos calculados en donde se ocultó diferentes partes de la máquina para apreciar la curvatura del tubo.

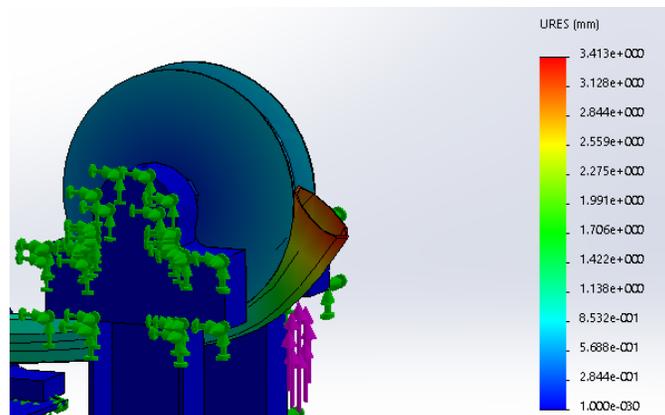
Figura 6. 16 Aplicación de cargas.



Fuente: Propia.

En la **figura 6.16** se ubicó el momento en sentido antihorario con el fin de plasmar como realiza la tracción al momento de desplazar el tubo, que se encuentra ubicado sobre las matrices de apoyo fija y móvil. Como resultado de la simulación, se logró deformar el tubo con la carga de 123472,06 N y el momento torsional logran una pendiente de 3,4 milímetros.

Figura 6. 17 Deformación máxima resultado por la carga aplicada.



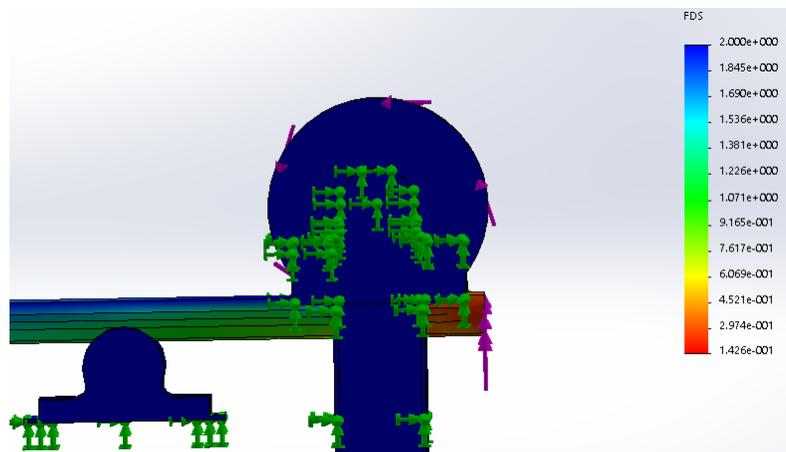
Fuente: Propia.

En la **figura 6.17** se logró deformar el tubo a la forma de la matriz dobladora, y se observó que el extremo del tubo es el que sufre una mayor deformación, además antes de ingresar el tubo se observó como el tubo empieza a deformarse; se observa con un tono azul claro, correspondiente a un valor de 0,57mm

Factor de seguridad para piezas en contacto

Ahora empleando los materiales para las piezas que entran en contacto con el tubo de 1 ½" y logran una acumulación de esfuerzos en los elementos de las cargas aplicadas del acero estructural para parales y el acero 1045 para los ejes, chumaceras acero aleado fundido y fundición gris para la matriz. Se logra apreciar en la **figura 6.18** no está sobredimensionada.

Figura 6. 18 Factor de seguridad para piezas en contacto con el tubo de 1 ½".



Fuente: Propia.

La **figura 6.18** se apreció como la carga al ser aplicada, las partes que se encuentran realizando mayor resistencia al doblado, y por su geometría con una mayor rigidez son los parales, matriz de doblado, chumaceras y ejes con un factor de seguridad de 2 con tono azul. El tubo en su extremo de color rojo nos muestra que la carga aplicada puede deformarse; en donde por medio de la simulación es el objetivo que se busca para doblar el tubo. Este factor de seguridad demostró que el factor usado en los cálculos para las piezas críticas como lo son base móvil de (1.5) y paral de soporte en la matriz de doblado (1.5), están en el rango que nos demostró la simulación, en donde llego a definir que el máximo valor como factor de seguridad es 2.

6.12 Anexo. Cotización.

Tabla 6. 2 Cotización de partes.

Cotización de partes para la dobladora de tubo			
Ítem	Parte	Valor unidad	Total
1	Chumacera P209	55000	330000
2	Chumacera Reductor P205	25000	25000
3	Eje ¾ a 4,5mm	152000	152000
4	Material base para dados	76000	228000
5	Torneado para dados pequeños y dado doblador	150000	450000
6	Cadena paso 60	69000	69000
7	Pin de Cadena paso 60	5000	5000
8	Piñón 16 dientes Ref 60B16	50000	50000
9	Piñón 33 dientes Ref 60B13	35000	35000
10	Motor 4 Hp marca Wey en baja	950000	950000
11	Motor reductor Hidro Mec 4 Hp helicoidal	1324000	1324000
12	Polea 5in ref 5x1 B	20000	20000
13	Polea 2.5 in Ref 2 ½ x1B	10000	10000
15	Correa Ref B30	7500	7500

16	Interruptor	25000	25000
17	Taco Doble	70000	70000
18	Angulo 2 in 3 /16	80000	80000
19	Gato Hidráulico 5T	98000	98000
20	Mano de Obra	300000	300000
VALOR TOTAL CON FECHA DE 16 DE ABRIL DE 2021			4`228.500

Fuente: Propia.