

**Dobladora de tubo redondo**



**Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubería redonda semiautomática por arrastre para acero inoxidable en la empresa Deinox en la ciudad de San Juan de Pasto (Nariño)**

Luis David Garnica Bermúdez

PROHIBIDA SU COPIA

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

Programa de Ingeniería mecánica

Facultad de ingeniería

San Juan de Pasto

2023

**Dobladora de tubo redondo**



**Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubería redonda semiautomática por arrastre para acero inoxidable en la empresa Deinox en la ciudad de San Juan de Pasto (Nariño)**

Luis David Garnica Bermúdez

Trabajo de grado para obtener el título de ingeniero mecánico

Director

Erick Libardo Piñeros Valbuena

Corporación Universitaria Autónoma de Nariño

Facultad de ingeniería

Programa de Ingeniería mecánica

San Juan de Pasto

2023



Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	8
2. Descripción del Problema.....	10
3. Formulación del Problema.....	12
4. Justificación.....	13
5. Objetivos.....	15
5.1 Objetivo General.....	15
5.2 Objetivos Específicos.....	15
6. Marco Referencial .....	16
6.1. Marco Contextual.....	19
6.2. Marco Teórico.....	19
6.3. Conceptos de Diseño.....	22
6.3.1. <i>Partes Principales de una Dobladora de Tubo</i> .....	24
6.3.2. <i>Tipos de Máquinas que se Utilizan para el Doblado de Tubos</i> .....	25
6.3.3. <i>Métodos del Doblado de Curvatura</i> .....	27
6.3.4. <i>Elasticidad</i> .....	30
6.3.5. <i>Diseño Máquina 3D</i> .....	31
6.3.6. <i>Viabilidad de Curvatura del Tubo a Doblar</i> .....	33
6.3.7. <i>Radio de Curvatura Mínimo</i> .....	35
6.3.9. <i>Momentos de Inercia para Tubos</i> .....	36
6.3.8. <i>Fuerza Tubo</i> .....	37
6.3.9. <i>Momento Plástico</i> .....	37
6.3.10. <i>Esfuerzo</i> .....	38
6.3.11. <i>Torque</i> .....	38
6.3.12. <i>Potencia del Motor</i> .....	39
6.3.13. <i>Piñón y Cadena</i> .....	44
6.3.14. <i>Cálculo del Eje</i> .....	49
6.3.15. <i>Concentradores de Esfuerzo en los Ejes</i> .....	52
6.3.16. <i>Esfuerzos de Diseños Para un Eje</i> .....	56
8.1.17. <i>Cojinetes con Contacto de Rodadura o Rodamientos</i> .....	59
6.3.18. <i>Relación entre Carga y Duración</i> .....	62
6.3.19. <i>Diagrama Electrónico y sus Componentes</i> .....	63
6.3.20. <i>Líneas de Alimentación Trifásicas</i> .....	65
6.3.21. <i>Disyuntor Manual</i> .....	65



## Dobladora de tubo redondo

6.3.22. Contactor .....	67
6.3.23. Relé Térmico Protege Motor Trifásico .....	67
6.3.24. Contactos Totalmente Abierto y Cerrado .....	70
6.4. Marco Legal .....	71
7. Diseño de Aspectos Metodológicos .....	73
7.1. Línea de Investigación .....	73
7.2. Enfoque .....	73
7.3. Método .....	73
8. Elementos de Administración y Control .....	74
8.1. Recursos Físicos y Técnicos .....	74
8.2. Talento Humano .....	74
8.3. Presupuesto .....	74
8.4. Costos de Ingeniería .....	76
9. Propuesta de Diseño .....	77
10. Diseño del Detalle .....	79
10.1. Viabilidad de Curvatura del Tubo a Doblar .....	79
10.2. Radio de Curvatura Mínimo .....	80
10.3. Momento de Inercia para Tubos .....	80
10.4. Fuerza Tubo .....	81
10.5. Momento Plástico .....	82
10.6. Esfuerzo .....	82
10.7. Cálculo de Torque .....	83
10.8. Potencia de Motor .....	83
10.9. Cálculo de Piñón y Cadena .....	86
10.10. Cálculo del Eje .....	90
10.11. Esfuerzo de Diseño para un Eje .....	91
10.12. Calculo Estructura .....	104
10.13. Selección del Material .....	110
10.14. Cálculo eléctrico de gasto y beneficios .....	113
11. Resultados .....	115
12. Conclusiones .....	116
13. Referencias .....	118
14. Anexos .....	120

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso de moldeo del tubo.....	22
<b>Figura 2.</b> Dobladora manual .....	25
<b>Figura 3.</b> Dobladora de tubo CNC .....	26
<b>Figura 4.</b> Dobladora N Nargesa .....	27
<b>Figura 5.</b> Doblado por compresión .....	28
<b>Figura 6.</b> Doblado por arrastre .....	28
<b>Figura 7.</b> Doblado por tracción .....	29
<b>Figura 8.</b> Radio de doblado.....	30
<b>Figura 9.</b> Tipos de mandriles .....	31
<b>Figura 10.</b> Máquina dobladora de tubo .....	31
<b>Figura 11.</b> Radio mínimo de curvatura .....	33
<b>Figura 12.</b> Momento de inercia.....	36
<b>Figura 13.</b> Esquema básico de transmisión por cadena .....	45
<b>Figura 14.</b> Descomposición fuerzas Catarina .....	51
<b>Figura 15.</b> Formas de cuñas .....	53
<b>Figura 16.</b> Tipos de cuñas .....	54
<b>Figura 17.</b> Ángulos de reducción de eje .....	55
<b>Figura 18.</b> Resistencia a la fatiga de Sn.....	58
<b>Figura 19.</b> Esquema de rodamiento de bolas .....	60
<b>Figura 20.</b> Esquema de rodamientos cónico de cilindro.....	61
<b>Figura 21.</b> Diagrama giro de motor horario - Simulamos en CADe SIMU.....	63
<b>Figura 22.</b> Diagrama giro de motor anti horario - Simulamos en CADe SIMU.....	63
<b>Figura 23.</b> Gráfica de 3 fases .....	65
<b>Figura 24.</b> Disyuntor .....	66
<b>Figura 25.</b> Contactor .....	67
<b>Figura 26.</b> Relé térmico .....	68
<b>Figura 27.</b> Fase en forma senoidal.....	68
<b>Figura 28.</b> Colores básicos en instalación electrónica .....	69
<b>Figura 29.</b> Pulsador paro de emergencia.....	70
<b>Figura 30.</b> Pulsadores.....	71
<b>Figura 31.</b> Matriz morfológica.....	77
<b>Figura 32.</b> Fuerzas sobre las catarinas de cadena .....	90
<b>Figura 33.</b> Diagrama de cuerpo libre eje principal .....	91
<b>Figura 34.</b> Diagrama fuerzas y reacciones XY .....	92
<b>Figura 35.</b> Fuerzas cortantes y momentos XY.....	94
<b>Figura 36.</b> Diagrama ZX.....	95
<b>Figura 37.</b> Fuerzas cortantes y momentos XZ.....	99
<b>Figura 38.</b> Estructura.....	104
<b>Figura 39.</b> Fuerzas sobre la viga .....	107

## Dobladora de tubo redondo



<b>Figura 40.</b> Esfuerzo cortantes y momentos sobre la viga .....	110
<b>Figura 41.</b> ángulos de acero tipo L ASTM A36 .....	111
<b>Figura 42.</b> Análisis estático tensiones.....	112
<b>Figura 43.</b> Desplazamiento en la estructura.....	112

PROHIBIDA SU COPIA



Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Planteamiento de la dobladora de tubo .....	23
<b>Tabla 2.</b> Diámetro y espesor tubos acero inoxidable ornamentales .....	32
<b>Tabla 3.</b> Propiedades mecánicas de aleaciones de acero inoxidable.....	32
<b>Tabla 4.</b> Factores de servicio de máquinas para trabajar metales .....	41
<b>Tabla 5.</b> Selección del modelo motorreductor de 0.5 HP .....	42
<b>Tabla 6.</b> Selección del modelo motorreductor de 0.7 HP .....	43
<b>Tabla 7.</b> Factores de servicio para transmisiones por cadenas.....	45
<b>Tabla 8.</b> Capacidades en caballos de fuerza – cadena simple de rodillos número 60.....	46
<b>Tabla 9.</b> Tamaños estándar de cuñas.....	54
<b>Tabla 10.</b> Factor de confiabilidad .....	57
<b>Tabla 11.</b> Propiedades de material eje .....	57
<b>Tabla 12.</b> Comparación de los tipos de rodamientos .....	62
<b>Tabla 13.</b> Características del motor.....	64
<b>Tabla 14.</b> Costos transmisión de potencia.....	74
<b>Tabla 15.</b> Costos sistema de control.....	75
<b>Tabla 16.</b> Costos mecanismos y estructura .....	75
<b>Tabla 17.</b> Datos del motor.....	86
<b>Tabla 18.</b> Resumen de diseño .....	89
<b>Tabla 19.</b> Tamaños de cadenas de rodillos .....	89
<b>Tabla 20.</b> Propiedades de estructuras aceros.....	107
<b>Tabla 21.</b> Dimensiones peso y área de ángulos de acero tipo LASTM A36 .....	111



## **1. Introducción**

La creación y diseños de máquinas a través del tiempo han sido aliados estratégicos en el desarrollo industrial, económico y social; y, a su vez, la optimización de recursos para las empresas, un ejemplo de eso radica en la revolución industrial, donde se realizó una transformación de lo manual a algo más tecnificado, aunado a esto, actualmente, es importante tener más precisión, reducción de recursos y menores tiempos de producción.

Por lo anterior, este trabajo presenta una investigación de una dobladora de tubo de material de acero inoxidable de diferentes calibres de una pulgada por método de arrastre, para la empresa DEINOX, en el municipio de San Juan de Pasto. La empresa presenta algunas necesidades en el proceso del doblado de tubos, de los cuales se hace un despliegue de las funciones de calidad con la técnica de herramientas que fueron desarrolladas con ayuda de manuales de ingeniería y recolección de datos de campo. Además de ello, la dobladora se proyecta por programas de diseño asistido por computadora SolidWorks del cual se exporta el conjunto de estructuras dupla de la máquina para ser optimizada por medio de la simulación.

Los métodos usados son mediante el sistema de arrastre de dos caratulas semejantes al tubo a doblar, en el cual se va a implementar un sistema de mordaza, de sujeción en el tubo con la ayuda de mandril flexible para evitar deformaciones. Los mecanismos mecánicos para utilizar son, engranajes, ejes, y rodamientos que dan el movimiento mediante un motor eléctrico para obtener los grados inclinación del tubo a doblar.

De esta manera, se busca mejorar un proceso, específicamente, la calidad de las manijas que se hacen por parte de la empresa DEINOX, reemplazando así, la compra de codos que luego son soldados en los extremos del tubo dando a esto imperfecciones en el acabado, ya que el acero



inoxidable es una aleación metal que requiere unos métodos de pulido especiales, con la dobladora se busca minimizar el tiempo de producción y perfeccionar el acabado superficial.

Para finalizar se realizó un análisis financiero del proyecto para verificar la factibilidad a través de indicadores financieros y con esta información observar la rentabilidad de la dobladora por arrastre dentro de la empresa, se puede concluir el tiempo de producción aumentaría en un 300% en la forma en que actualmente se hacen los dobleces de las manijas, atribuyéndole a la empresa una rentabilidad en los procesos y transformación del acero inoxidable con mejores acabados.

PROHIBIDA SU COPIA



## **2. Descripción del Problema**

Actualmente la empresa DEINOX produce manija para discapacitados en acero inoxidable en calibre 20 y 18 de diámetro de una pulgada con diferente espesor, siendo el doblado de tubo uno de sus principales problemas para la fabricación de manijas. Se puede evidenciar que a la hora de realizar el proceso de fabricación estos problemas son: el rayado de la superficie del tubo, deformaciones plásticas y arrugas, así como el retorno elástico que son los principales problemas al momento de doblar un tubo.

Una de las principales dificultades es que la empresa DEINOX no cuenta con una dobladora de tubo, ni manual ni semiautomática, lo cual dificulta los procesos de producción a la hora de fabricar las manijas, y esto repercute a la comprar codos para luego soldar y poderlas fabricar, por consiguiente, ocasiona un beneficio costo muy alto.

Por otra parte, se encuentra el problema que deja la soldadura, ya que en los codos para las manijas se observa un acabado notorio de un pulido en el acero inoxidable defectuoso dando a esto una apariencia opaca o poco brillante, con rayones inusuales en el satinado del acero inoxidable, por esto, la empresa en su línea de manijas desea adquirir una máquina que facilite y elimine la demora del proceso de fabricación, así bien, la alternativa de una posible solución, es una máquina que realice dobleces en la tubería para elimine el soldado de codos y así entregar las manijas con un mejor acabado superficial, cumpliendo con los estándares de calidad que se requieren.

La empresa DEINOX ha tenido un crecimiento en ventas significativo en nuevos productos de innovación de tipo manija que podrán ser fabricados con mucho mas convenientemente con el proceso de dobleces de tubos. De lo anteriormente explicado nos



## **Dobladora de tubo redondo**

11

podemos hacer una pregunta: ¿será posible diseñar o construir una maquina dobladora de tubos con control semiautomática para la empresa DEINOX, que permita reducir costos, tiempos de productividad y acabado superficiales del acero inoxidable?

Este es un problema al cual se le desea dar una solución con una maquina dobladora de tubo semiautomática por arrastre, que garantice una mayor eficiencia y un mayor beneficio costo. Esta reemplazará a la compra de codos, y tendrá la capacidad de doblar diferentes espesores en tubería de una pulgada.

En la actualidad en la ciudad de pasto en el área de la industria metalmeccánica existen cantidad de máquinas dobladoras de tubos manuales que requieren ser automatizadas o semiautomáticas entre ellas la empresa DEINOX, para mejorar costos y un alto nivel de calidad en sus productos; los mecanismos son un conjunto de elementos móviles y rígidos, respecto de otros que se unen entre sí mediante diferentes tipos de uniones, el propósito de este tipo de máquinas es dar la una transmisión mecánica en movimientos constante aplicándole una fuerza mecánica mediante un motor eléctrico, hidráulico o manual.



### **3. Formulación del Problema**

¿Cómo mejorar el proceso de doblado, disminuyendo el tiempo empleado, a través de un sistema por compresión mediante mecanismos mecánicos que cumplan con los requerimientos de dobles para la empresa DEINOX?

PROHIBIDA SU COPIA



#### 4. Justificación

Las empresas industriales en sus continuos procesos de cambio buscan encontrar soluciones factibles y viables, este tipo de soluciones se encuentran al automatizar o semiautomatizar los procesos, lo que genera a la empresa un sostenimiento y posicionamiento en el mercado nacional, asimismo, reducir costos entre otros factores importantes.

Actualmente la empresa DEINOX necesita diseñar una dobladora de tubo para acero inoxidable, la cual pueda mejorar y optimizar la producción de manijas, así como garantizar un apropiado funcionamiento para satisfacer las necesidades de la empresa y de los clientes, en el cual se busca la implementación de un sistema semiautomático de dobleces de tubos desde 0 a 180 grados, con diferentes espesores de tubo de una pulgada que van desde los calibres 20 (0,912 mm); 18 (1.214 mm) diámetros de una pulgada, los cuales tendrán diferentes radios de curvatura que no permitan la deformación del material, ralladuras o semiduras; así como también ángulos con dobleces exactos.

La construcción de una dobladora de tubo semiautomática es una de las mejores opciones para DEINOX como empresa, porque ayuda a reducir tiempos de producción y mano de obra. De lo anterior damos un ejemplo: en una manija de tubo de diámetro de 1 pulgada de calibre 18 por 40 cm de largo con dos codos, que luego pasan a ser soldados a cada extremo del tubo, se genera un tiempo de soldar de tres minutos, luego, son pulidos y brillados, esto tarda un tiempo de 25 minutos; lo anterior, es en tiempos de manufactura, si hablamos de términos económicos o costos, los codos tienen un valor en el mercado de 16.000 (dieciséis mil) COP; más los utensilios de pulido, energía y demás elevan los costos de producción y hacen que la empresa DEINOX no sea competitiva actualmente en el mercado, retomando el ejemplo, el tiempo que tardan en hacer



## **Dobladora de tubo redondo**

una manija es alrededor de cuarenta y cinco minutos de los cuales en el día se fabricarían 11 manijas y al mes 286 manijas, con la solución de la dobladora semiautomática se obtendría un beneficio económico muy importante, además de tiempo de producción, número de operarios, disminución de errores y lo más importante el tiempo de fabricación de una manija se reduciría a 5 minutos con 20 segundos, de los cuales serían alrededor de 2.400 manijas mensuales. Siempre y cuando la empresa se dedique a sacar manijas en serie y cumpla con los mantenimientos correctivos y preventivos de la máquina.

De otro modo, otro beneficio costo se analiza desde la perspectiva en la cual la máquina no es puesta a trabajar continuamente o ya se cumplen con las necesidades de la empresa en las producciones diarias, de esta forma, podrá prestar un servicio en la ciudad de pasto, en un estudio mercado de investigación por competencias se obtuvo que solo hay en prestación de servicio 2 máquinas dobladoras de tubo semiautomática, por la demanda que existe en doblar tubos de diferentes diámetros la competencia no da abasto, por lo cual hay un panorama ideal para la construcción de otra máquina semiautomática dobladora de tubo que supla las necesidades locales en este servicio.



## **5. Objetivos**

Planear y fabricar una máquina dobladora de tubo por arrastre que mejore el proceso del doblado de tubo, aumente el rendimiento de producción y dé una mayor rentabilidad a la empresa DEINOX.

### **5.1 Objetivo General**

Planear y fabricar un prototipo de máquina dobladora de tubos semiautomática para acero inoxidable mediante sistema de arrastre, disminuyendo tiempos de producción y generando más productividad para la empresa DEINOX en la ciudad de San Juan de Pasto.

### **5.2 Objetivos Específicos**

- Investigar los elementos necesarios y mecanismos actuales para el diseño de la máquina dobladora de tubos.
- Determinar el material adecuado para el diseño de los moldes basándose en los esfuerzos generados en el proceso de doblado de tubo.
- Diseñar y construir una máquina dobladora de tubo de 1 pulgada de acero inoxidable por medio de mecanismos de arrastre.
- Elaborar un manual de mantenimiento y de operaciones de máquina dobladora de tubo por arrastre.



## **6. Marco Referencial**

Debido a los procesos industriales para el doblado de tubos para productos como las manijas que aportan a la transformación de la materia prima del acero inoxidable se tiene aumento de precios en la comercialización generando así mayor rentabilidad en los procesos de fabricación, es de gran importancia expandir el campo investigativo para desarrollar y crear equipos que faciliten este tipo de productos en la industria metalmecánica, equipos como: dobladoras de tubos manuales, semiautomáticas, automáticas o CNC (Control Numérico por Computadora) que hoy en día son de vital importancia en la preparación de estos productos, favorecen el tiempos y costes de mano de obra y ayudan al aumento de la producción (Mott, 2006)

Existen diferentes tipos de dobladoras, como diferentes configuraciones de formas de doblar los tubos los cuales varían de acuerdo con el espesor y diámetro del tubo, como por ejemplos arrastres, compresión de tres ejes, etc. también se utilizan diferentes tipos de mecanismos para facilitar el torque necesario que se necesita para cada espesor o diámetro del tubo, estos mecanismos pueden ser hidráulicos, neumáticos, mecánicos y electrónicos.

La dobladora de arrastre es comúnmente utilizada con una barra de presión que va al interior del tubo que evita deformaciones, aunque también se puede utilizar arena, cera entre otras. La mordaza o sujetador cumple con la función de sujetar el tubo para que este arrastre lo necesario para lograr el doblez con los grados previstos y cumpla con los criterios de deformación que se diseñó logrando así una tener fatiga nominal en el material y propiedades técnicas.

Sustentando lo anterior, Paredes (2011) en su trabajo denominado diseño y construcción de un prototipo de una máquina roladora de tubo cuadrado de 50x50x2 mm semiautomática, cuyo objetivo era reemplazar un proceso manual de doblado de tubos en producción de partes estructurales de carrocerías para buses. La idea constaba en un prototipo semiautomático para mejorar la producción. Como resultado logró que la máquina dobladora de tubos fuera capaz de conformar diámetros entre 16 a 18 pulgadas, ser resistente a fallas que pudieran ser ocasionadas por el movimiento del bastidor a la salida de las tuberías y evitar desvíos en el doblado del tubo.

Por otra parte, en una investigación realizada por Moreno (2013) denominada diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos hidráulica con accionamiento automático, se usó el software de modelación geométrica (INVENTOR) el cual permitió la realización y visualización de la pieza, además, se analizaron tres alternativas para la realización, también, determinaron la fuerza en el curvado, por medio de un análisis de cargas que fueron referentes para los cálculos correspondientes, finalmente se determinaron unos costos directos e indirectos para la fabricación de la máquina.

Cumbal y España (2016) por su parte, con su trabajo diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubos semiautomática con rodillos intercambiables, para su diseño, formularon tres rodillos acoplados a sus ejes, con acero de transmisión 1045 y motor eléctrico con reductor de cadena piñón. Además, en su trabajo concluye que al realizar esta máquina reducen costos de transporte, mano de obra y demás.

Después, Gil (2018) plantea el diseño de una maquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa Coldidactias LTDA, la cual modeló en un programa llamado “Solidworks” usaron un PLC para realizar un sistema automático de doblado de tubos



## **Dobladora de tubo redondo**

para el análisis de primer nivel en el proceso de control. Por medio de las matrices de tamizaje se consiguió un mejor resultado de la máquina.

Finalmente, Zuluaga (2019) propone una tesis denominada máquina dobladora de tubos 1 ½". En este proyecto plantea realizar secciones cortadas y colilladas a 30 y 45 grados, o secciones en U, como resultado obtiene un prototipo que se calculó en rodamientos, sistema hidráulico y eje. Lograron una maquina con capacidad de trabajo pesado, además, lograron con sus cálculos, una resistencia y durabilidad del equipo, finalmente, presentan una automatización del proceso con un PLC

PROHIBIDA SU COPIA

### **6.1. Marco Contextual**

El presente proyecto está dirigido a la empresa DEINOX ubicada en la ciudad de pasto, departamento de Nariño, en el barrio caracha. La empresa está dedicada a la fabricación productos de aceros inoxidables con una trayectoria en el mercado de 4 años. Así como en búsquedas de nuevos equipos o máquinas que mejores los procesos de fabricaciones actuales.

### **6.2. Marco Teórico**

Para la realización de una dobladora de tubo semi automatizada la cual pretende doblar un tipo de tubería ornamental de acero inoxidable 304 con diferentes calibres, es necesario abordar los conceptos teóricos en el diseño y cálculos, que permitan la correcta ejecución del prototipo.

Como bien sabemos el acero inoxidable es uno de los materiales más utilizados para la construcción arquitectónica, gastronómica y hospitalaria entre otras, por sus ventajas que presentan a la exposición atmosférica, dado que no necesita recubrimiento para evitar la corrosión brindando al consumidor economía en su mantenimiento.

En la ciudad de pasto hay diferentes empresas dedicadas al proceso de la transformación del acero inoxidable y comercialización de sus productos, los talleres de metalmecánica en especial los que trabajan el acero inoxidable no cuentan con máquinas automáticas o semiautomáticas que sirvan al proceso del doblado de tubo por eso recurren al método convencional que es mediante dobladoras manuales.

Así pues, no todos los diferentes diámetros, espesores y tipos de tubería de acero inoxidables se pueden utilizar es la dobladora semiautomática por que pueden sufrir daños que



## **Dobladora de tubo redondo**

afecten el producto final, para la cual se realiza una selección de tubería ornamental que es la esencial para la empresa DEINOX en la fabricación de sus productos.

Se propone hacer un análisis de las máquinas dobladora de tubo semiautomáticas que son fabricadas en Colombia, pero debido a que la mayoría de las máquinas son importadas, se toman tres empresas representativas en el mercado internacional. Sin embargo, es válido aclarar que la mayoría de las máquinas que se fabrican tienen la especialidad de ser dobladoras de tubería de acero al carbón, se realiza el análisis con base a cada uno de los siguientes requerimientos.

Protección de características del producto: este tipo de máquinas, y la gran mayoría, tienen en cuenta que el material a procesar debe estar protegido contra daños de fabricación tales como abolladuras, rallones y deformaciones por ello mismos se evitan tener zonas puntiagudas y lo recomendado es hacer moldes supremamente lisos, se debe realizar selección de materiales adecuados y parametrizar velocidades para cada molde para evitar que el producto procesado sea afectado. Por ello mismo.

Por otra parte, fácil mantenimiento: entre menos piezas tenga la máquina es más fácil realizar el mantenimiento y aunque se puede observar que la máquina está completamente protegida con láminas laterales desmontables, protecciones para el motor, mesa de admisión y extracción de producto no la hace una máquina compleja en su mantenimiento, además que, en general, son máquinas de pocos mecanismos, tan solo llevan consigo un motor, un sistema de transmisión de potencia, rodamientos y controles sencillos.

Finalmente, fácil limpieza: debido a la calidad de las piezas a transformar se hace un el proceso de limpieza en la máquina cada día, por lo general no hay desechos ni compuestos del material a maquinar o dobla.



Por otra parte, hablamos de dobladora de tubo semiautomática: NARGESA, esta empresa fabricante de dobladoras de todo tipo, ofrece maquinas horizontal como se puede observar La nueva generación de curvadoras de tubos sin mandril CC60 realizan curvas en tubo hueco hasta 180° con el mejor acabado, la máxima rapidez y menor espesor que otras máquinas de su misma categoría. Los tubos pueden ser redondos, ovalados cuadrados, rectangulares etc. en diferentes materiales: hierro, aluminio, acero inoxidable.

Otras características importantes a tener en cuenta, es que son:

Económica: como se había mencionado anteriormente, por ser una máquina que ofrece más cantidad de dobleces, es de suponer que las dimensiones son mayores y el motor con mayor potencia, haciendo que eleve el costo de la máquina.

Acoplamiento dimensional al espacio: este acoplamiento es bajo condiciones precisas del cliente y de la zona donde se va a instalar y esta empresa se dedica a fabricar máquinas estandarizadas por ellos mismo, así que puede que sí o no cumpla con el requerimiento del cliente.

Acoplamiento a otras máquinas: si se habla de máquinas en general, esta empresa tiene implementado en sus parámetros de diseño algunas configuraciones para que se acoplen con alguna otra máquina.

Materiales inocuos: estas máquinas son fabricadas en acero al carbón AISI 304, material que como se describió anteriormente, es el material más adecuado para este tipo de maquinaria.

Garantizar entrega de producto en el transportador: debido a las tolvas de admisión y extracción donde se recoge o entrega el producto, se puede concluir que están pensadas para pertenecer a un grupo de máquinas que hacen parte de una línea de proceso.



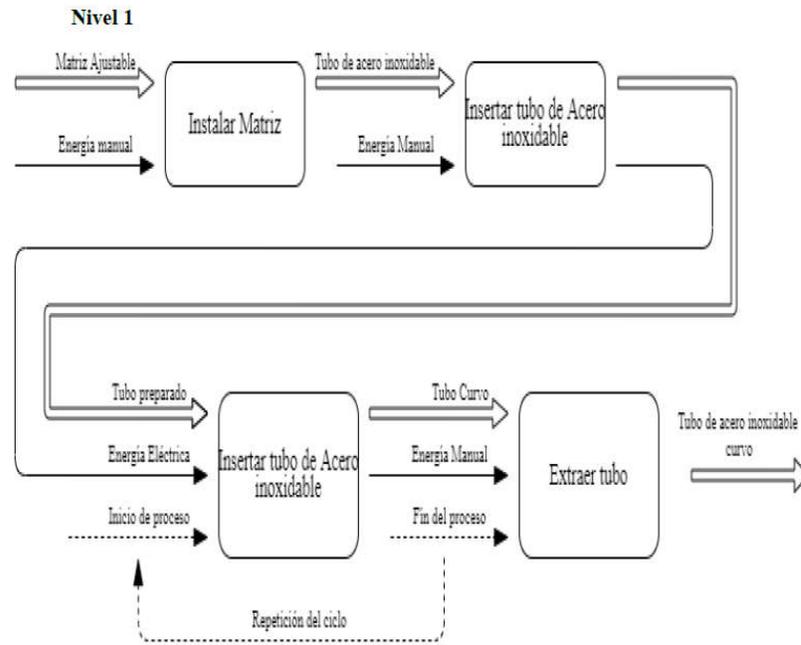
### **6.3. Conceptos de Diseño**

La empresa DEINOX, ubicada en el municipio de pasto Nariño, realiza el proceso de compra de codos que son soldados manual o artesanalmente, llevando consigo unas consecuencias en el control de calidad en el producto terminado, dado que la soldadura por ser rugosa, y que por ser llevada a pulido ocasiona que sea no uniforme, se adhiere partículas de óxido cuando no se tiene cuidado en la manipulación. Por lo tanto, es necesario un tipo de muestras para saber qué tipo de maquinaria se puede implementar para mejorar las falencias, luego, se ha llegado a la conclusión de utilizar una maquina dobladora de tubo semiautomática con movimiento electromecánico el cual cumple con dos objetivos: el primero, fuerza uniforme: es el proceso en el cual el tubo sufre sus tensiones de fabricación y depende de una fuerza necesaria para evitar deformaciones por esta razones se debe calcular las RPM, el segundo, fuerza motriz: radios mínimos de curvaturas, capacidad máxima de tubo a doblar en este caso acero inoxidable.

Por consiguiente, las principales operaciones en la transformación de la tubería son las matrices (moldes) del tubo a trabajar, insertar el tubo, ajustar los grados a curvar, extraer el tubo y, finalmente, mediante un calibrador manual comprobar los grados doblados. Ver figura 1.

#### **Figura 1**

*Proceso de moldeo del tubo*



Fuente: elaboración propia

A continuación, en la tabla 1 se observa el planteamiento de la dobladora de tubo

**Tabla 1.**

*Planteamiento de la dobladora de tubo*

No	Descripción	Requerimientos
1	Que permita la obtención de curvatura deseada.	Tener un medidor ajustable que permita dar grados de curvaturas.
2	Que genere adaptación ante las necesidades	Realizar rehabilitación continua para cada proceso
3	Que pueda permitir cuantificar las sesiones diarias.	Medir la capacidad de curvaturas diarias.



4	Que tenga la posibilidad de graduar la velocidad de acuerdo con el tubo a curvar	Emplear categorías de velocidad en intervalos alto-medio-bajo
5	Que pueda ser operada a distancia y de forma distribuida.	Interfaz que permita el seguimiento por parte del especialista
6	Que pueda ser monitoreada	Interfaz controlada

Fuente: elaboración propia

### **6.3.1. Partes Principales de una Dobladora de Tubo**

**6.3.1.1. Motor.** El motor es el encargado de producir la fuerza necesaria que se va a utilizar para vencer la resistencia del material, esta fuerza motriz va a ser transmitida al eje de rotación de la dobladora de tubo teniendo en cuenta el tamaño de rotación y características que tenga el tubo.

**6.3.1.2. Mordaza.** Es la parte que sujetadora del tubo la cual cumple con la función de guiar el tubo por el molde, debe ser de fácil funcionalidad por que en cada curvatura es la que primera pieza que se utiliza y la ultima una vez está hecha la curva.

**6.3.1.3. Eje de Rotación.** Es la parte principal del disco formador, que tiene como función dar los ángulos y la forma con que va a quedar los dobles del tubo. Su tamaño depende del nivel de deformación que se va a trabajar pues puede sufrir fatigas, fallas de fractura, agrietamiento por la torsión requerida.

**6.3.1.4. Soldadura.** Según el manual “AGA S.A” soldar es el proceso de unir o juntar metales mediante el calentamiento de las superficies a unir hasta alcanzar un estado plástico

permitiendo de esta forma que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de un material de aporte, brindando una sujeción deseada por el soldador.

Tipos de soldaduras:

- Soldadura SMAW: soldadura por arco eléctrico revestido
- Soldadura GMAW: soldadura por arco de hilo de metal protegido con gas.
- Soldadura GTAW: soldadura con arco eléctrico de tungsteno con gas

### **6.3.2. Tipos de Máquinas que se Utilizan para el Doblado de Tubos**

**6.3.2.1. Dobladora Manual.** Como su nombre lo indica es de forma manual la cual es accionada por una palanca la cual está situada en el eje de rotación, esta máquina es una de las primeras opciones para los talleres de metalmecánica pues tiene un bajo costo en el mercado y son ideales para la pequeña industria, la gran desventaja que un mal uso puede acarrear problemas de salud al operario si sus procesos de fabricación de curvas son rutinarios, en la figura 2 podemos observarla.

#### **Figura 2**

*Dobladora manual*

## Dobladora de tubo redondo



Fuente: Workpaal, 2002.

**6.3.2.2. Dobladora de Tubo CNC.** Las dobladoras de tubo CNC, como se indica en la figura 3 y 4, son las máquinas más avanzadas en el mercado pues ya trabajan con tecnología 4.0. Sus principales ventajas son que pueden guardar en su software modelos de dobleces de diferentes ángulos y direcciones de rotación, así como estimar la superficie que se va a requerir del tubo a doblar y tiempos de fabricación en serie.

### **Figura 3**

*Dobladora de tubo CNC*



Fuente: Tools S.A.S, 2018.

#### Figura 4

*Dobladora N Nargesa*



Fuente: N Nargesa, 2022.

### 6.3.3. Métodos del Doblado de Curvatura

los métodos más comunes en el doblado de tubos son tres los cuales se mencionan a continuación:

- Doblado por compresión

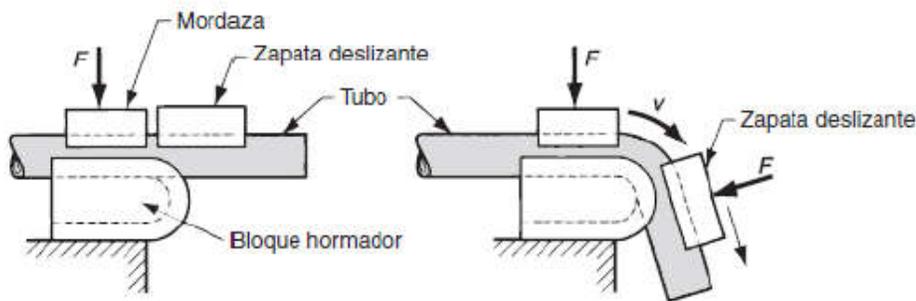
## Dobladora de tubo redondo

- Doblado por arrastre
- Doblado a tracción
- Mandriles para doblar tubos

**6.3.3.1. Doblado por Compresión.** El tubo de trabajo se fija con una mordaza y se le obliga envolverse en torno a un dado formador fijo usando una mordaza deslizante. Esta técnica permite hacer series de dobleces que casi no dejan espacios libres entre ellos. En la figura 5 se puede observar.

### Figura 5

*Doblado por compresión*

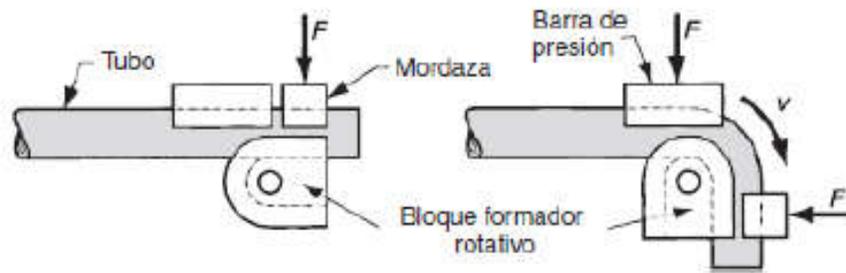


Fuente: Groover, 2007.

**6.3.3.2. Doblado por Arrastre.** Como se muestra en la figura 6, el tubo se fija a una matriz mediante una mordaza y por la rotación de la matriz el tubo es estirado hasta que toma la forma requerida, la barra de presión soporta todo el trabajo realizado durante el proceso. Este método es adecuado en tubería de pared delgada, especialmente cuando se realizan dobleces de radios pequeños y se pueden trabajar con ángulos de hasta 180°.

### Figura 6

*Doblado por arrastre*

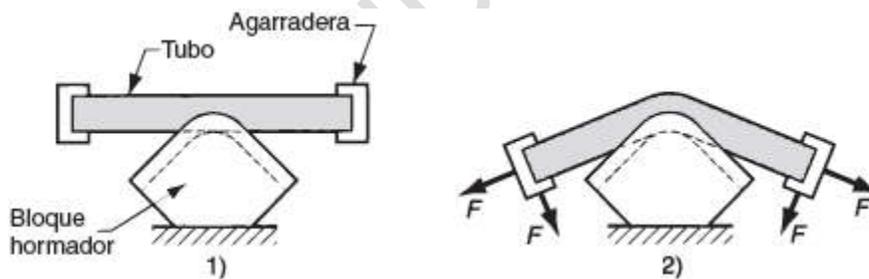


Fuente: Groover, 2007.

**6.3.3.3. Doblado por Tracción.** Se aplican fuerzas en los extremos del tubo presionándolo contra una matriz fija hasta deformarlo permanentemente. Es un método rápido y se puede aplicar en tubos de pared gruesa, en la actualidad las máquinas con este sistema pueden doblar tubería con diámetros de 10 a 350 mm de diámetro y ángulos hasta 165°. Ver la figura 7.

**Figura 7**

*Doblado por tracción*



Fuente: Quinga y Taco, 2009.

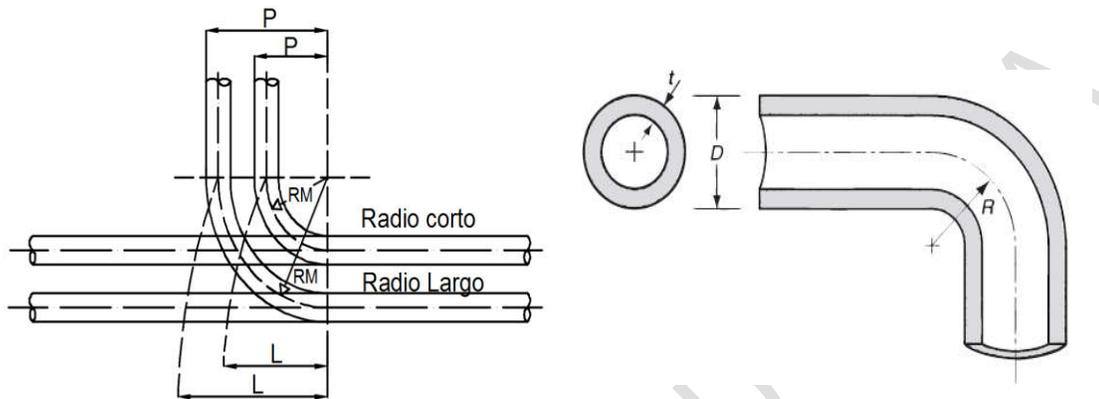
**6.3.3.4. Radio de Doblado.** Según la figura 8, debido a las fuerzas que se aplican en el proceso de doblado existe la tendencia de que la tubería presenta deformaciones no deseadas, debido a tensiones en la pared externa y compresión en la pared interna en la zona de la curva, por tal motivo se ha establecido radios mínimos de doblado R para evitar este problema, cuando

## Dobladora de tubo redondo

se utiliza mandril el radio de doblado es 1,5 veces el diámetro, y cuando no se utiliza mandril, es 3 veces el diámetro.

### Figura 8

*Radio de doblado*



Fuente: Groover, 2007.

### 6.3.4. Elasticidad

Parte de la Física que estudia las Leyes que gobiernan las deformaciones sufridas por un cuerpo cuando se le aplica una fuerza externa. Todo cuerpo sobre el que actúan fuerzas externas sufre una deformación que depende de la naturaleza del sólido y de las fuerzas que sobre él actúan. Esfuerzo y deformación: módulo de Young-Contracción lateral-Compresibilidad-Elasticidad por deslizamiento o cizalladura.

**6.3.4.1. Mandriles para Doblar Tubos.** Como se observa en la figura 9, los mandriles para doblar tubos se fabrican según las aplicaciones del tubo a doblar dependiendo de la dificultad del tubo a doblar.

## Dobladora de tubo redondo

### Figura 9

*Tipos de mandriles*



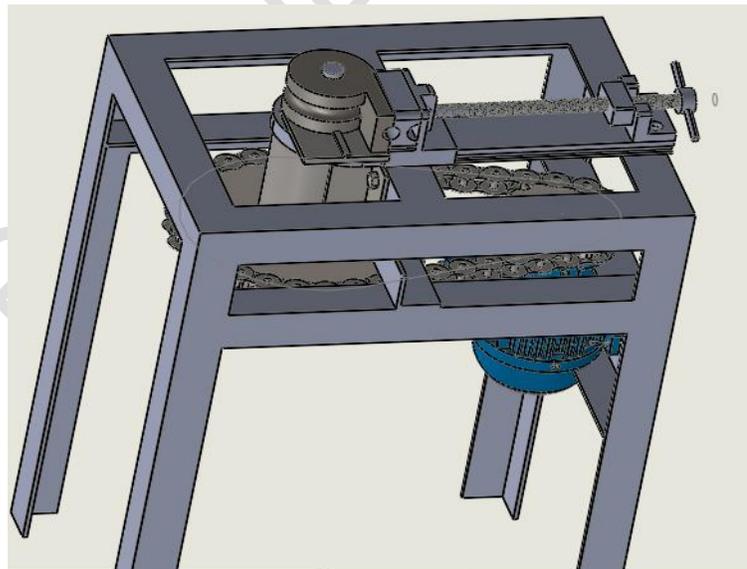
Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2015.

### 6.3.5. Diseño Máquina 3D

En la figura 10, se presenta el diseño de la maquina en 3D.

### Figura 10

*Máquina dobladora de tubo*



Fuente: elaboración propia.

## Dobladora de tubo redondo



Asimismo, en la tabla 2 se presenta el diámetro y espesor de tubos de acero inoxidable ornamentales.

**Tabla 2.**

*Diámetro y espesor tubos acero inoxidable ornamentales*

Diámetro exterior		Espesor de pared en mm. peso kg/metro			
Pulg.	mm	0.90	1.00	1.20	1.50
1/2	12.70	0.267	0.294	0.347	0.422
5/8	15.80	0.337	0.372	0.440	0.539
3/4	19.00	0.409	0.452	0.537	0.659
1	25.40	0.554	0.613	0.729	0.901
1.1/4	31.80	0.699	0.774	0.922	1.142
1.1/2	38.10	0.841	0.932	1.112	1.379
1.3/4	44.50	0.986	1.093	1.305	1.620
2	50.80	1.128	1.251	1.495	1.858

Fuente: elaboración propia.

Luego, en la tabla 3, se relacionan las propiedades mecánicas de aleaciones de acero inoxidable.

**Tabla 3.**

*Propiedades mecánicas de aleaciones de acero inoxidable*

Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de acero inoxidable.							
Aleaciones de acero inoxidable	Condición	Resistencia a la fluencia por tensión (0.2% de deformación remanente)		Resistencia última a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Rockwell o Brinell
		Ksi	Mpa	Kpsi	Mpa		
Tipo 301	recocido en tiras	40	276	110	758	60	85HRB



	rolado en frio	165	1.138	200	1.379	8	41HRC
Tipo 302	recocido en tiras	40	276	90	621	50	85HRB
	rolado en frio	165	1.138	190	1.310	5	40HRC
Tipo 304	recocido en tiras	35	241	85	586	50	80HRC
	rolado en frio	160	1.103	185	1.276	4	40HRC
tipo 316	recocido en lamina	40	276	90	621	50	85HRC
tipo 410	rolado en caliente	45	310	70	483	25	80HRC
	tratamiento térmico	140	965	180	1.241	15	39HRC

Fuente: Mott, 2006.

La línea de tubería y perfilería de acero fabricado en el país y la importada, se rige por Normas Internacionales como:

- ASTM (American Society for Testing Materiales),
- ISO (International Standards Organization),
- ANSI (American National Standard Institute)

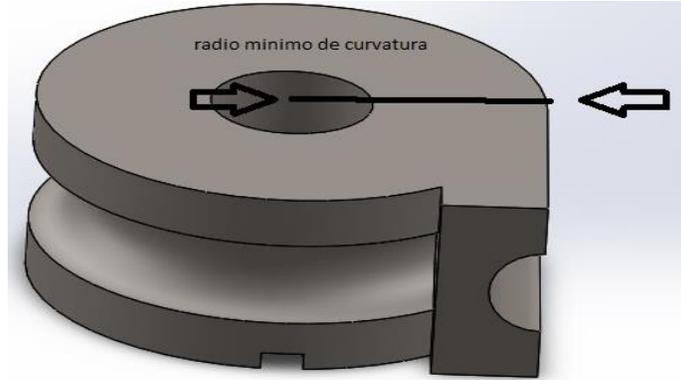
**6.3.6. Viabilidad de Curvatura del Tubo a Doblar**

Para saber la viabilidad del tubo a doblar hay que tener en cuenta unos factores que son para tubo redondo en este caso, el radio medio de curvatura, diámetro y el espesor del tubo en cuestión. Ver figura 11. La viabilidad está dada por un factor K que representa la dificultad del tubo a doblar que es inversamente proporcional a su valor: aumenta cuando el factor K es abajo mientras que este disminuye cuando esta alto.

**Figura 11**

*Radio mínimo de curvatura*

## Dobladora de tubo redondo



Fuente: elaboración propia.

- **$K > 0.30$**  -el curvado del tubo es fácil
- **$0.30 > K > 0.1$** -proceso de curvado de dificultad normal para cuales es necesario el uso de un mandril interno y fijo.
- **$0.1 > K > 0.08$** - para doblar el tubo se requiere un mandril fijo con un dado alisado, una herramienta especial para evitar arrugas
- **$0.08 > K > 0.05$** - el dado del tubo solo es posible utilizando un mandril articulado interno y un dado alisador
- **$K < 0.05$** - el tubo no puede ser doblado bajo condiciones normales. Se debe evaluar la posibilidad de reducir el factor k o fabricar herramientas especiales.

$$K = \frac{RM * SP}{\varnothing^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

RM= radio medio de curvatura

SP= espesor de pared del tubo

$\varnothing$ = diámetro exterior del tubo

**Alargamiento tubos metálico:**

Para conocer la longitud total del tubo a doblar es necesario incluir las partes rectas y así saber la longitud exacta de la parte del tubo a doblar. En el alargamiento del tubo puede sufrir causas de rotura

La fórmula para calcular la longitud de la zona curva es la siguiente:

$$Z = \frac{DP * \pi}{360} \alpha \quad (\text{Ecuación 2})$$

Z: longitud del tubo

DP: diámetro disco dobladora

$\alpha$ : ángulo de curvado

grado de dobles: 90°

**6.3.7. Radio de Curvatura Mínimo**

La calidad de las curvas obtenidas al doblar un tubo depende en gran parte de la relación que existe entre el diámetro exterior del tubo a doblar, ( $\emptyset_e$ ), y el radio de curvatura obtenida después de doblar el tubo, (Rc). Esta relación se conoce como factor de curvatura (Fc).

$$fc = \frac{RC}{\emptyset_e} \quad (\text{Ecuación 3})$$

## Dobladora de tubo redondo



Para doblar el tubo es necesario aplicarle a éste una fuerza tal que genere un esfuerzo mayor que el esfuerzo de fluencia del material, para que haya deformación plástica. La ecuación para calcular el esfuerzo de flexión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

**M:** momento interno resultante

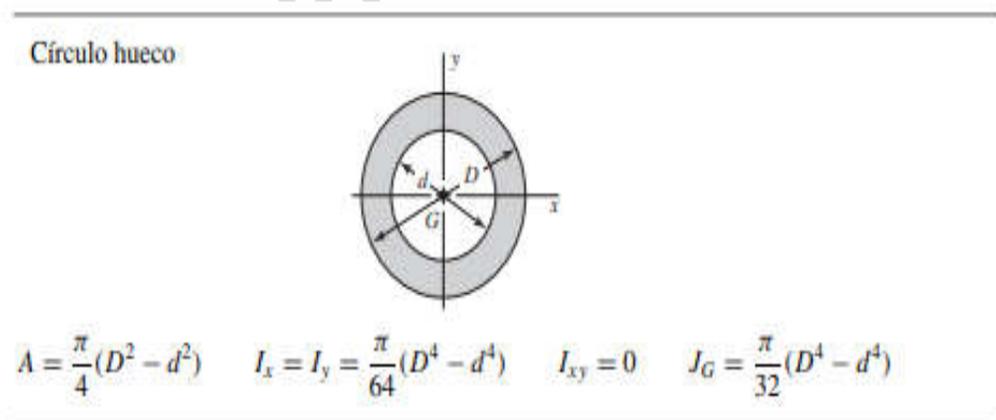
**C:** Distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se calculará el esfuerzo. Para este caso  $c = R$ .

**I:** momento de inercia de la sección transversal para el tubo.

### 6.3.9. Momentos de Inercia para Tubos

**Figura 12**

*Momento de inercia*



Fuente: Mott, 2006.

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \quad (\text{Ecuación 5})$$

**D:** diámetro exterior

**d:** diámetro interior

Luego, para calcular la distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se calculará el esfuerzo se tiene la siguiente ecuación:

$$c = \frac{D}{2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

### 6.3.8. Fuerza Tubo

Calculamos la fuerza necesaria para doblar un tubo de las anteriores características, utilizando la siguiente formula:

$$F = \frac{6 * S_y * I}{R * C} \quad (\text{Ecuación 7})$$

### 6.3.9. Momento Plástico

Calculamos Momento plástico del material para saber hasta qué punto resiste nuestro tubo a doblar con la siguiente ecuación:

$$MP = \frac{3 * S_y * I}{2 * C} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

**MP:** momento plástico



### **Dobladora de tubo redondo**

**S<sub>y</sub>**: resistencia de fluencia

**I**: momento de inercia del tubo

**C**: Distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se calculará el esfuerzo

#### **6.3.10. Esfuerzo**

Para el cálculo del esfuerzo, se verifica que nuestros resultados esten bien si se cumple este caso

$$\sigma > S_y$$

Donde:

$$\sigma = \frac{MP \cdot c}{I} \quad (\text{Ecuación 9})$$

#### **6.3.11. Torque**

El torque denominado como la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna pieza se calcula teniendo en cuenta que:

**F**: fuerza requerida

**R**: radio matriz de dobladora

$$T = F * R \quad (\text{Ecuación 10})$$

### 6.3.12. Potencia del Motor

Para alcanzar nuestra justificación de hacer 1 manija en 5 minutos con 20 segundo debemos calcular la velocidad angular si tenemos nuestros Rpm necesarios para lograr con esta justificación. Para analizar el tiempo que dura la acción del doblar. El tiempo asumido para hacer un doble es de 120 segundo lo cual es para un recorrido máximo de dobles de 180° y se considera los 360° por la acción de ida y retorno a su punto inicial, en conclusión, tenemos 20 RPM.

Con la siguiente ecuación la velocidad de giro

$$\frac{1750}{min} = \frac{2\pi rad}{rev} * \frac{1m}{60s} = 183.25rad/s \quad (Ecuación 11)$$

Con este cálculo sabemos a qué velocidad gira el tubo a doblar, ahora realizamos el cálculo de potencia del motor.

**6.2.12.1. Cálculo de Potencia.** Seleccionamos el torque mayor del tubo a doblar para que la maquina tenga una mayor eficiencia.

$$P = T * W \quad (Ecuación 12)$$

**6.2.12.2. Selección Motorreductor.** La selección del motorreductor de velocidad para la dobladora de tubos se debe tener en cuenta los siguientes tamaño y tipo que permita doblar los tubos de diferentes calibres a una temperatura ambiente en la ciudad de pasto, su posición será en forma vertical con accionamiento de cadenas de transmisión de fuerza, el trabajo diario se estima en 8 horas diarias.

Donde:

## Dobladora de tubo redondo



**Potencia del cálculo ( $N_a$ ):** es la potencia teórica necesaria para el accionamiento mecánico.

**Potencia de entrada ( $N_e$ ):** esta es la potencia de cálculo determinada anteriormente que deberá ser afectada por el rendimiento del motorreductor, siendo el dato suministrado por el fabricante.

**Relación de transmisión ( $i$ ):** la determinación con la preselección del motor.

**Velocidad de entrada ( $n_e$ )(rpm):** la determinamos con los datos del motor preseleccionado

**Velocidad de salida ( $n_s$ )(rpm):** la determinamos con los datos del proyecto.

**Factor de servicio ( $F_s$ ):** este depende de la maquina accionada. El tipo de motor de accionamiento y la cantidad de horas de arranque por hora

**Potencia de mando ( $N_m$ ):** es la potencia de entrada afectada por el factor de servicio ( $F_s$ ).

**Preselección:** del catálogo seleccionamos el reductor

$$P = N_a \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$N_e = N_a/r \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

r: es el rendimiento que nos indica el fabricante (lentax) en este caso es de 98.05%

Luego en la Tablas 4 tenemos la información sobre el factor de servicio de motorreductores marca lentax.

**Tabla 4.**

*Factores de servicio de máquinas para trabajar metales*

<b>Factor de servicio</b>			
<b>Máquinas para trabajar metales</b>	<b>Horas</b>		
	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
balancines.	1.65	1.6	1.8
cizallas.	1.5	1.6	1.6
enderezadoras de chapa	1.65	1.8	1.8
máquinas dobladoras	1.5	1.6	1.6
presa forja	1.65	1.8	1.8
cepillos	1.65	1.8	1.8

Fuente: Elaboración propia.

Para la preselección del motorreductor debemos hallar la relación de transmisión en velocidad de entrada del reductor y salida, con la siguiente ecuación.

$$i = \frac{ne}{ns} \quad (\text{Ecuación 15})$$

De la tabla 5 el fabricante se obtiene el dato aproximado de las revoluciones de entrada al reductor siendo 1405 rpm.

## Dobladora de tubo redondo



Ahora de la tabla de factores de servicio seleccionamos máquinas dobladoras y en el caso de nuestra máquina se estima un promedio de horas trabajadas en el día de 8 horas, por lo tanto, el factor de servicio nos da 1.5

Con lo anterior podemos hallar la potencia de mando para finalmente saber que motorreductor es más conveniente usar. Con la siguiente ecuación

$$Nm = Ne * fs \quad (\text{Ecuación 16})$$

### Tabla 5.

*Selección del modelo motorreductor de 0.5 HP*

PROHIBIDA SU COPIA



Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO		Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repuestos	
kW	HP	(RPM)	(i)			(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página	
0,37	0,50	1,00	1474,38	F4TR	0,50	1,20	3532	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		1,20	1157,56	F4TR	0,50	1,55	2773	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		1,50	940,78	F4TR	0,50	1,90	2254	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		1,80	783,13	F4TR	0,50	2,25	1876	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		2,10	663,31	F4TR	0,50	2,65	1589	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		2,50	569,16	F4TR	0,50	3,10	1364	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		2,80	493,24	F4TR	0,50	3,60	1182	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
		3,20	445,83	F4TR	0,50	3,95	1068	1405	4200	2100	177	pag 50-51	pag 66	
	0,37	0,50	1,10	1273,70	F3TR	0,50	0,95	3052	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
			1,30	1094,04	F3TR	0,50	1,10	2621	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
			1,50	918,65	F3TR	0,50	1,30	2201	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
			1,60	858,94	F3TR	0,50	1,35	2058	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
			2,00	698,09	F3TR	0,50	1,70	1673	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
			2,40	581,10	F3TR	0,50	2,05	1392	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66
0,37	0,50	3,00	475,91	F3TR	0,50	2,50	1140	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66	
		3,30	422,34	F3TR	0,50	2,80	1012	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66	
		3,80	373,64	F3TR	0,50	3,15	895	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66	
		4,60	303,67	F3TR	0,50	3,90	728	1405	3100	1550	117	pag 50-51	pag 66	
		2,10	662,35	F2FR	0,50	1,00	1587	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
		2,30	603,85	F2FR	0,50	1,05	1447	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
		2,60	534,20	F2FR	0,50	1,20	1280	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
		3,2	441,00	F2FR	0,50	1,45	1057	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
		3,5	406,23	F2FR	0,50	1,60	973	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
		3,8	370,17	F2FR	0,50	1,75	887	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66	
4,4	316,68	F2FR	0,50	2,05	759	1405	2100	1050	69	pag 50-51	pag 66			
5,5	255,41	F2FR	0,50	2,55	612	1405	1950	975	69	pag 50-51	pag 66			
6,7	210,85	F2FR	0,50	3,05	505	1405	1950	975	69	pag 50-51	pag 66			
7,9	176,98	F2FR	0,50	3,65	424	1405	1950	975	69	pag 50-51	pag 66			

Fuente: Lentax, 2019.

Tabla 6.

Selección del modelo motorreductor de 0.75 HP

## Dobladora de tubo redondo



Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repuestos			
kW	HP	(RPM)	(i)		(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página			
0,55	0,75	3,2	441,00	F2FR	0,75	1,00	1568	1420	2100	1050	72	pag 50-51	pag 66		
		3,5	406,23	F2FR	0,75	1,05	1444	1420	2100	1050	72	pag 50-51	pag 66		
		3,8	370,17	F2FR	0,75	1,20	1316	1420	2100	1050	72	pag 50-51	pag 66		
		4,5	316,68	F2FR	0,75	1,40	1126	1420	2100	1050	72	pag 50-51	pag 66		
		5,6	255,41	F2FR	0,75	1,70	908	1420	1950	975	72	pag 50-51	pag 66		
		6,7	210,85	F2FR	0,75	2,05	750	1420	1950	975	72	pag 50-51	pag 66		
		8,0	176,98	F2FR	0,75	2,45	629	1420	1950	975	72	pag 50-51	pag 66		
		9,4	150,37	F2FR	0,75	2,90	535	1420	1950	975	72	pag 50-51	pag 66		
		11,0	128,92	F2FR	0,75	3,40	458	1420	1950	975	72	pag 50-51	pag 66		
		0,55	0,75	6,2	149,26	F2T3	0,75 /6	2,00	832	920	1950	975	71	pag 48-49	pag 66
				6,8	136,08	F2T3	0,75 /6	2,20	759	920	1950	975	71	pag 48-49	pag 66
8,6	106,42			F2T3	0,75 /6	2,80	593	920	1950	975	71	pag 48-49	pag 66		
10,3	89,30			F2T3	0,75 /6	3,35	498	920	1950	975	71	pag 48-49	pag 66		
11,3	81,42			F2T3	0,75 /6	3,70	454	920	1950	975	71	pag 48-49	pag 66		
10,0	149,26			F2T3	0,75	3,00	539	1420	1950	975	65	pag 48-49	pag 66		
10,0	136,08			F2T3	0,75	3,30	492	1420	1950	975	65	pag 48-49	pag 66		
5,7	248,01			F1FR	0,75	1,00	882	1420	1250	625	53	pag 50-51	pag 66		
6,9	204,74			F1FR	0,75	1,20	728	1420	1250	625	53	pag 50-51	pag 66		
8,3	171,86			F1FR	0,75	1,45	611	1420	1250	625	53	pag 50-51	pag 66		
9,7	146,02			F1FR	0,75	1,70	519	1420	1250	625	53	pag 50-51	pag 66		
11,3	125,18	F1FR	0,75	1,95	445	1420	1250	625	53	pag 50-51	pag 66				
0,55	0,75	6,3	145,73	F1T3	0,75 /6	1,20	813	920	1250	625	52	pag 48-49	pag 66		
		6,9	132,79	F1T3	0,75 /6	1,30	740	920	1250	625	52	pag 48-49	pag 66		
		7,7	118,76	F1T3	0,75 /6	1,50	662	920	1250	625	52	pag 48-49	pag 66		
		8,5	108,22	F1T3	0,75 /6	1,65	603	920	1250	625	52	pag 48-49	pag 66		
		8,9	103,69	F1T3	0,75 /6	1,65	578	920	1250	625	52	pag 48-49	pag 66		

Finalmente, en el anexo C se observa la Solución técnica del motorreductor seleccionado.

### 6.3.13. Piñón y Cadena

Una cadena es un elemento mecánico que se deriva de diferentes modelos los cuales son: cadena de rodillos estándar de una hilera (la más común en el mercado) cadena de rodillo estándar de dos hileras también existen de rodillos para trabajos pesados, cadenas de rodillos de doble paso entre otras, la función principal es transmitir la potencia con una serie de eslabones unidos con pernos, este sistema mecánico permite flexibilidad y la gran ventaja son las grandes fuerzas de tensión (Mott, 2006).

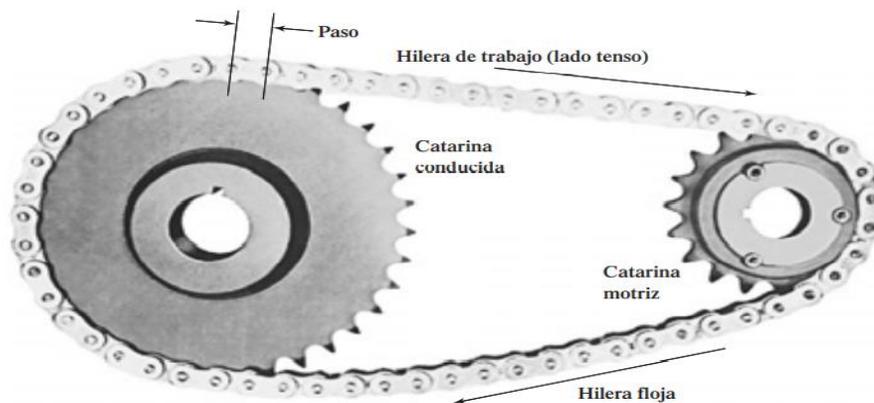
Para el funcionamiento adecuado de la cadena se necesita de dos catarinas de las cuales van unidas a un eje o flecha que da un movimiento mecánico los cuales se usan para disminuir o

Para aumentar la velocidad de giro para lograr esto los diámetros de las catarinas varían en sus tamaños se las conoce como Catarina motriz y Catarina conducida,

Para calcular los dientes de cada Catarina se debe tener en cuenta las revoluciones del motor con las revoluciones deseadas, así como también el paso de cada eslabón o diente que función va a realizar la transmisión por cadena pues dependiendo de este se escogerá el paso de los dientes de las catarinas. Posteriormente en la figura 13 tenemos el esquema básico de transmisión por cadena, asimismo, en la tabla 7 y 8 tenemos los factores e servicio para transmisiones de cadena y las capacidades en caballos de fuerza para la cadena simple de rodillos número 60

**Figura 13**

*Esquema básico de transmisión por cadena*



Fuente: Mott, 2006.

**Tabla 7.**

*Factores de servicio para transmisiones por cadenas*

	Tipo de impulsor
Tipo de carga	

## Dobladora de tubo redondo



	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
choque moderado (maquinas herramienta. Grúa, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molino)	1.2	1.3	1.4
choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillo, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Fuente: elaboración propia.

### Tabla 8.

Capacidades en caballos de fuerza – cadena simple de rodillos número 60

Números de dientes	0.750 pulgadas de paso velocidad mínima de giro Catarina			
	10	25	50	100
12	0.21	0.50	0.97	1.88
13	0.22	0.54	1.05	2.04
14	0.24	0.58	1.13	2.19
15	0.26	0.62	1.21	2.35
16	0.27	0.66	1.29	2.51
17	0.29	0.70	1.37	2.66
18	0.31	0.75	1.45	2.82
19	0.33	0.79	1.53	2.98
20	0.34	0.83	1.61	3.13
21	0.36	0.87	1.69	3.29
22	0.38	0.91	1.77	3.45



23	0.40	0.95	1.85	3.61
24	0.41	0.99	1.93	3.76
25	0.43	1.04	2.01	3.92

tipo A

lubricación manual o por goteo

Fuente: elaboración propia.

Luego, para el cálculo de la potencia de diseño, con el factor se utiliza la ecuación 17. La cual está compuesta potencia del motorreductor y el factor de servicio de la tabla 7

$$P_d = P * F_{sc} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Posteriormente, se calculan los números de la Catarina mayor

$$N_2 = N_1 * \text{relacion deseada} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Así bien, se calcula la velocidad de salida deseada con la siguiente ecuación

$$n_2 = n_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (\text{Ecuación 19})$$

En ese orden de ideas, se presenta la ecuación de transmisión por cadena, para dar una relación adecuada de diseño de cadena calculamos con las siguientes formulas.

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 * C} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$C = 1/4 \left[ L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left( L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \quad (\text{Ecuación 21})$$



$$D = \frac{\rho}{\sin(180^\circ/N)} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Ángulo para Catarina de menor diámetro

$$\theta = 180^\circ - 2 \sin^{-1}[(D_2 - D_1)/2C] \quad (\text{Ecuación 23})$$

Ángulo para Catarina de mayor ángulo diámetro

$$\theta = 180^\circ + 2 \sin^{-1}[(D_2 - D_1)/2C]$$

Donde:

**L**: longitud de la cadena en pasos

**C**: distancia entre centros máxima

**N<sub>1</sub>**: dientes Catarina pequeña

**N<sub>2</sub>**: dientes Catarina grande

**D<sub>1</sub>**: El diámetro de paso de Catarina menor con N dientes, para una cadena de paso  $\rho$

**D<sub>2</sub>**: El diámetro de paso de Catarina mayor con N dientes, para una cadena de paso  $\rho$

**$\theta_1$** : El arco de contacto de la cadena en la Catarina menor debe ser mayor que 120°

**$\theta_2$** : El arco de contacto de la cadena en la Catarina mayor

**$\rho$** : paso cadena

#### 6.3.14. Cálculo del Eje

Para determinar el cálculo de eje debemos definir unos pasos que son muy importante al momento de diseñar nuestro eje como, por ejemplo

- Determinar la velocidad de giro, potencia o par torsional que trasmite el eje.
- Determinar el diseño de los componentes mecánicos tales como transmisores de potencia, cojinetes, engranes o piñones entre otros.
- Definir tipos de cojinetes de dependiendo si estarán sometidos a carga radial y axial o combinadas. Además de su posición de largo del eje.
- Determinar la geometría del eje, con respecto a la posición de los elementos transmisores de potencia.
- Determinar la magnitud de par torsional en cada punto del eje, a través de diagramas o software.
- Determinar las fuerzas en dirección radial o axial ejercidas en el eje. Para que este último, descomponerla en direcciones perpendiculares, es decir verticales o horizontales.
- Calcular reacciones de los cojinetes de soportes.
- Generar los diagramas de fuerza cortante y momento flexionate, para determinar la distribución de los momentos flexionate del eje.
- Seleccionar el material de fabricación del eje.
- Determinar el esfuerzo de diseño adecuado, con respecto a la aplicación de la carga.



## Dobladora de tubo redondo

- Realizar el análisis de cada punto crítico del eje con el fin de determinar el diámetro mínimo aceptable
- Especificar las dimensiones finales. Con ellos se escogen los valores adecuados para el diseño del eje

A continuación, se mostrará las fuerzas que se ejercen elementos comunes que se adhieren a los ejes, estos son:

- Engranés rectos
- Engranés helicoidales
- Engranés cónicos
- Tornillos sin fin y coronas
- Cadenas y piñón
- Poleas para bandas en V
- Poleas para bandas planas
- Acoplamientos flexibles

Para el proyecto se tomará la transmisión de potencia mediante los elementos mecánicos de cadenas y piñón, donde tenemos una Catarina A y B las cuales nos dan un lado tenso y uno flojo dependiendo del par torsional que se ejerce sobre las Catarinas. En el cual el par torsional se trasmite a cada una de las catarinas por consiguiente el lado flojo no ejerce fuerza sobre las catarinas.

Si se conoce el par torsional en una de las catarinas podemos hallar la fuerza de la cadena con la siguiente ecuación.



$$F_c = \frac{T}{D/2} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

$F_c$ : fuerza de la cadena

$D$ : diámetro de paso de la cadena

$T$ : par torsional o torque

De lo anterior podemos deducir que para cada Catarina hay una  $F_c$ , dándonos las siguientes ecuaciones

$$F_c = \frac{2T_A}{D_A} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Para la Catarina de menor diámetro

$$F_c = \frac{2T_B}{D_B} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Para la Catarina de mayor diámetro.

Donde:

$T_A$ : par torsional que se ejerce el eje sobre la Catarina A

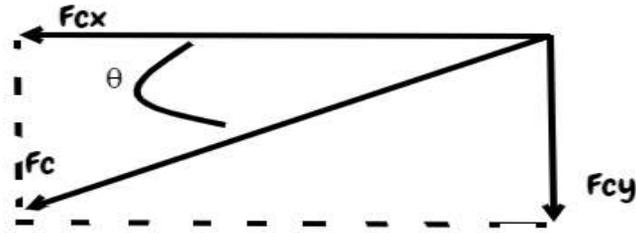
$T_B$ : par torsional de reacción que ejerce el eje sobre la Catarina B

Debido a las diferencias de tamaños de las catarinas, esta dirección forma ciertos ángulos con la línea de los centros de eje. Para hacer un análisis preciso se necesita descompones la fuerza  $F_c$  quedando las siguientes ecuaciones como se muestra en la figura 14.

### Figura 14

*Descomposición fuerzas Catarina*

## Dobladora de tubo redondo



Fuente: elaboración propia.

$$F_{cx} = F_c * \cos \phi \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$F_{cy} = F_c * \sin \phi \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

**X:** es para la dirección de la línea de centros

**Y:** es perpendicular a ella

$\phi$ : el ángulo de inclinación del lado tenso de la cadena con respecto a la dirección

### 6.3.15. Concentradores de Esfuerzo en los Ejes

Los concentradores de esfuerzo son provocados por cambios abruptos en la geometría de un material, o por condiciones a la geometría como cuñeros, escalones y ranuras para los anillos de retención. Para el diseño de ejes es necesario conocer los valores reales de los factores de concentración de esfuerzo están definidos por  $K_t$ .

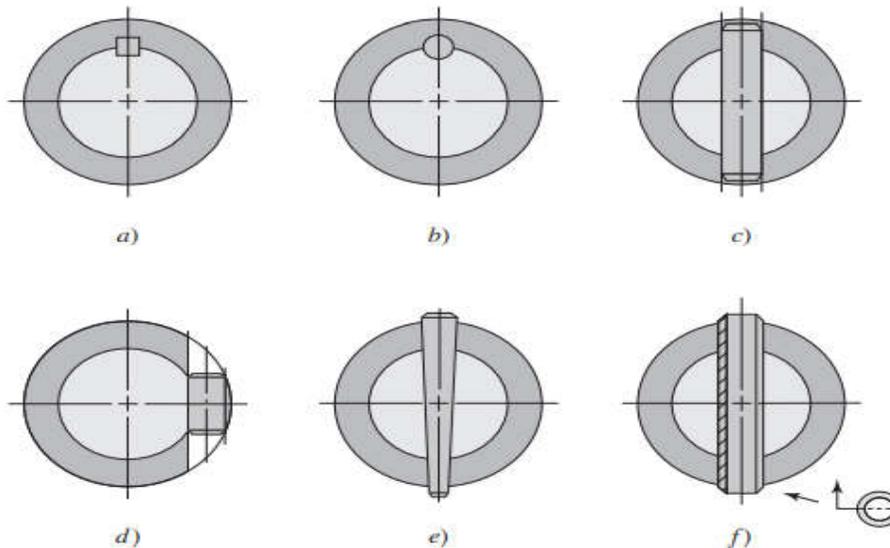
Los concentradores de esfuerzo varían de las aplicaciones de diseño o lo que se requiera realizar con el eje como por ejemplo tenemos los cuñeros y cuña que se describen a continuación.

**6.3.18.1. Cuñeros.** Es una ranura longitudinal que se corta en un eje, para la inserción de una cuña con el propósito de transmitir par torsional, por lo general se utilizan sobre el eje para fijar elementos rotatorios como engranes poleas o ruedas, las cuñas se emplean para permitir la transmisión del par torsional del eje o elemento que lo soporta. Ver figura 15

- Cuña cuadrada
- Cuña redonda
- y d) pasadores redondos
- y f) pasadores elásticos tubular hendido.

**Figura 15**

*Formas de cuñas*



Fuente: Mott, 2006.

**6.3.18.2. Cuña.** Usualmente se utiliza acero laminado en frío de bajo carbón y se fabrica de manera que sus dimensiones nunca excedan las dimensiones nominales del eje. Esto permite usar tamaños estándares de fabricantes de cuñas. En ocasiones se usa un tornillo de presión junto

## Dobladora de tubo redondo

a una cuña para soportar de manera axial y para minimizar el impacto de rotación cuando el eje gira. Así bien, en la tabla 9 se presenta la tabla para cuñas cuadradas.

**Tabla 9.**

*Tamaños estándar de cuñas*

Diámetro de eje		Tamaño de la cuña		
Mas de	hasta (inclusive)	W	H	profundidad cuñero
5/16.	7/16.	3/32.	3/32.	3/64.
7/16.	9/16.	1/8	1/8	1/16.
9/16.	7/8	3/16.	3/16.	3/32.
7/8.	1 1/4.	1/4	1/4	3/32.
1 1/4.	1 3/8.	5/16.	5/16.	5/32.
1 3/8.	1 3/4.	3/8	3/8	1/8

Fuente: Mott, 2006.

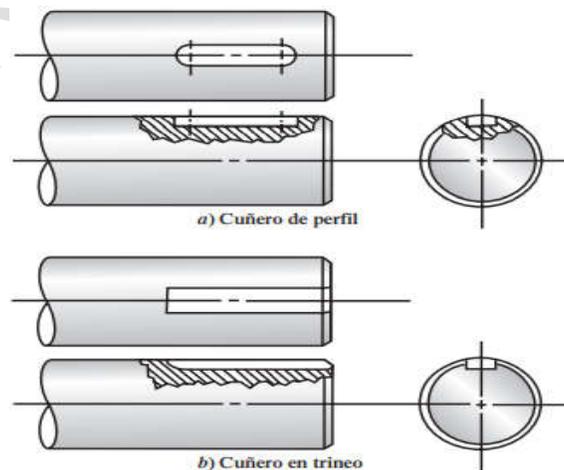
Luego, se identifican los siguientes tipos de cuñeros

Cuñero de perfil: tiene un fondo plano y un vértice agudo y a escuadra su Kt es de 2.0

Cuñero de trineo: tiene un radio uniforme en el vértice de la ranura y su Kt es de 1.

**Figura 16**

*Tipos de cuñas*



Fuente: Mott, 2006.

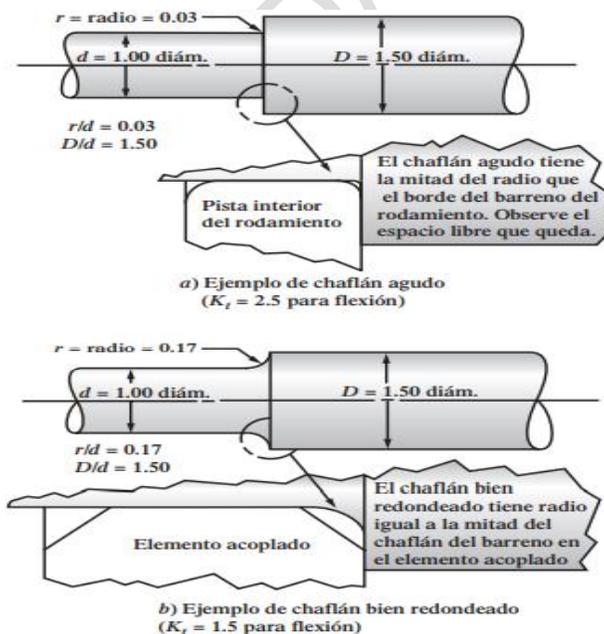
**Concentradores de Esfuerzo en Escalones o Chaflanes.** Se utilizan cuando se presenta cambios de diámetros en el eje, o cuando se desea localizar un elemento de maquina en el eje. En los escalones se presentan entonces concentradores de esfuerzos por lo general hay dos tipos entre ellos.

**Chaflan Agudo.** Tiene un factor de concentración de esfuerzo muy altos por lo que se recomienda evitarlos, porque forma un vértice alrededor de  $90^\circ$ . el  $K_t$  es de 2.5

**Chaflan de Redondeo.** Tiene un factor de concentración de esfuerzo más bajo y se utiliza cuando el elemento de maquina no recae directamente en la pared del escalón y su  $K_t$  es de 1.5.

**Figura 17**

*Ángulos de reducción de eje*



Fuente: Mott, 2006.



### 6.3.16. Esfuerzos de Diseños Para un Eje

En un eje pueden existir varias condiciones de esfuerzos simultáneos, es decir, pueden existir esfuerzos cortantes torsional, esfuerzo a flexión, o esfuerzos cortantes verticales

Suposiciones para el cálculo de esfuerzos:

- Los esfuerzos flexión son totalmente invertidos y repetidos
- Material del eje dúctil, debido a que se comporta mejor bajo cargas
- La carga torsional es relativamente constante y que actúa en una sola dirección

**El esfuerzo cortante de diseño:** para par torsional constante según la teoría de energía de distorsión, el mejor indicador de falla de materiales dúctiles debido al esfuerzo cortante y constante es y se calcula.

$$\tau_d = \frac{S_y}{N\sqrt{3}} = 0.577 * S_y/N \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

$\tau_d$ : esfuerzo cortante

$S_y$ : resistencia a la fluencia del material.

N: factor de diseño

Este valor de esfuerzo cortante se utilizará para esfuerzos cortantes por torsión continua, el esfuerzo vertical o el esfuerzo cortante en dirección del eje.

Para calcular la resistencia a la fátiga del material bajo condiciones reales S´n utilizamos la siguiente formula.

$$S'n = S_n * C_s * C_R$$

(Ecuación 30)

$S'n$ ; resistencia a la fatiga

$C_s$ : factor de tamaño

$C_r$ : factor de confiabilidad

**Tabla 10.**

*Factor de confiabilidad*

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_a$	Factor de confiabilidad $k_e$
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99,9	3,091	0,753
99,99	3,719	0,702
99,999	4,265	0,659
99,9999	4,753	0,620

Fuente: Mott, 2006.

**Tabla 11.**

*Propiedades de material eje*

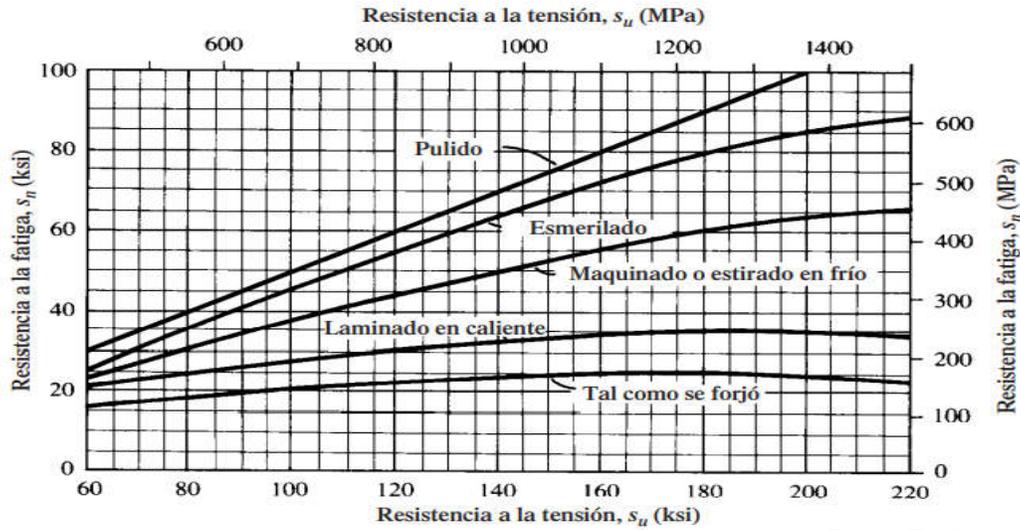


Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178

Fuente: Mott, 2006.

**Figura 18**

*Resistencia a la fatiga de Sn*



Fuente: Mott, 2006.

Para calcular el diámetro requerido mínimo de nuestro eje utilizamos la siguiente ecuación.

$$D = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

**D:** diámetro mínimo requerido

**N:** factor de diseño

**Kt:** concentrador de esfuerzo

**M:** momento

**T:** torque

**Sy:** resistencia a la fluencia

### 8.1.17. Cojinetes con Contacto de Rodadura o Rodamientos

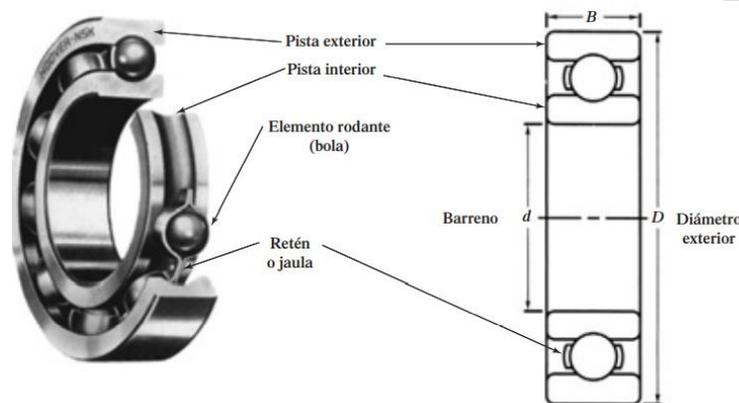
El propósito de un cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre un elemento de una máquina. Los cuales hay de diferentes tipos como

## Dobladora de tubo redondo

de bolas esféricas de rodillos entre otros elementos estacionarios o móviles el tipo de cojinete soporta un eje rotatorio, y resiste a cargas puramente radiales, o en una combinación de carga radial o axial, los cojinetes están diseñados para soportar solamente cargas de empuje. La mayoría de los cojinetes se usan en aplicaciones que involucran rotación como se muestra en la figura 19.

### Figura 19

*Esquema de rodamiento de bolas*



Fuente: Mott, 2006.

El análisis de fuerzas, al calcular las fuerzas aplicadas al eje a causa de las catarinas y después se calcula las reacciones en los cojinetes, los resultados, los cuales se resumen a continuación donde X indica la dirección horizontal y Y la dirección vertical de las fuerzas

Las fuerzas que actúan sobre los cojinetes son:

- $R_{rb} = 219.74N$
- $R_{rc} = 238.07N$
- $R_{Tc} = 12251.08N$



- $R_{Tb}=1147.96N$

Para seleccionar los tipos de cojinetes se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Identificar los cojinetes con contacto de rodadura disponibles en el comercio y seleccionar el tipo adecuado para determinar la aplicación, formas de cargas.
2. Usar la relación entre las fuerzas sobre los rodamientos y la expectativa de duración.
3. Manejar las tablas de los fabricantes para identificar su funcionamiento de los rodamientos de bolas o los adecuados para el funcionamiento.
4. Reconocer los valores adecuados de duración de diseño para los rodamientos
5. Calcular las cargas equivalentes sobre los rodamientos.
6. Especificar los detalles de montaje para rodamientos que no afecten el diseño del eje.
7. Comprender ciertas consideraciones practicas implicadas en la aplicación de los cojinetes

Los cojinetes de rodillos cónicos están diseñados para tomar cargas apreciables de empuje y también grandes cargas radiales, lo que redunda en excelentes calificaciones para ambas, Son utilizados en maquinaria pesada con grandes cargas inherente de empuje como engranes o reductores de velocidad. Ver figura 20.

**Figura 20**

*Esquema de rodamientos cónico de cilindro*



Fuente: Mott, 2006.

**Tabla 12.**

*Comparación de los tipos de rodamientos*

<b>Tipo de rodamiento</b>	<b>Capacidad de carga radial</b>	<b>Capacidad de carga de empuje</b>	<b>Capacidad de desalineamiento</b>
una hilera de bolas con ranura profunda	buena	regular	regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda	excelente	buena	regular
contacto angular	buena	excelente	mala
rodillos angulares	excelente	mala	regular
agujas	excelente	mala	mala
rodillos esféricos	excelente	regular o buena	excelente
rodillos cónicos	excelente	excelente	mala

Fuente: elaboración propia.

### **6.3.18. Relación entre Carga y Duración**

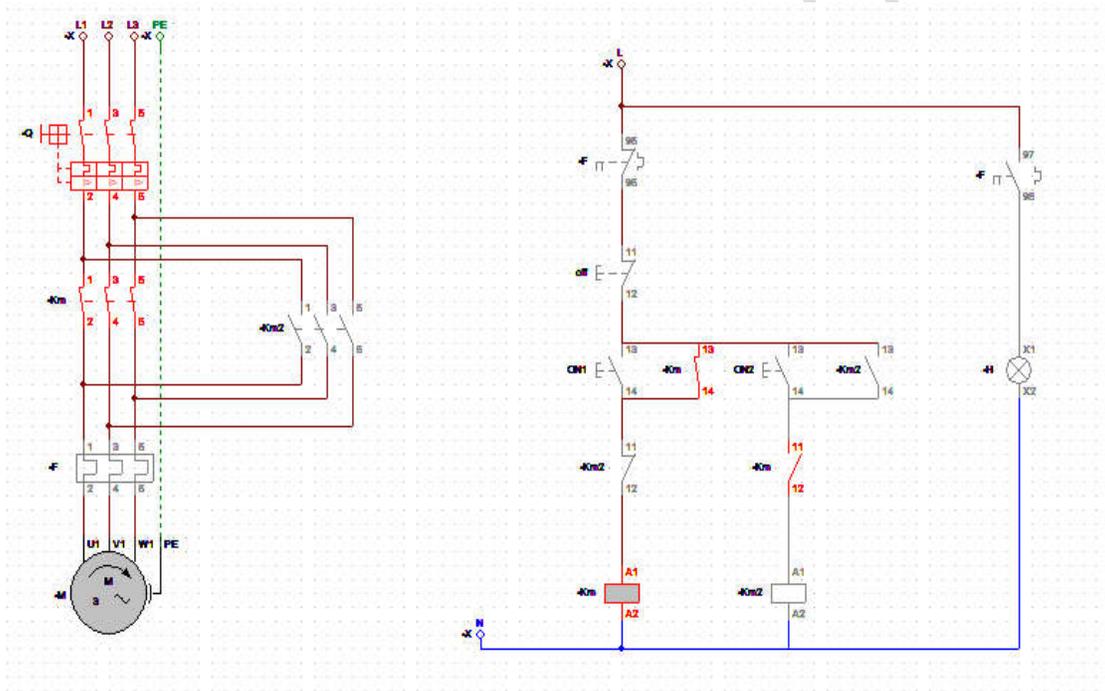
Todos los rodamientos tienen una duración finita, y terminarán por fallar debido a la fatiga causada por altos esfuerzos de contacto. Pero es obvio que, mientras menor sea la carga, la duración será mayor, y viceversa. La relación entre la carga  $P$  y la duración  $L$  se determina, para los cojinetes con contacto de rodadura.

### 6.3.19. Diagrama Electrónico y sus Componentes

Con la ayuda de CADe SIMU realizamos el diagrama electrónico invirtiendo el giro del motor, iniciamos la operación con un pulsador ON1, cuando la dobladora de tubos haya realizado el doble deseado con un paro de off, que nos apaga el motor una vez termina el doble y procedemos a dar el giro antihorario con la ayuda de un pulsador ON2. Simulamos en CADe SIMU giro horario como se observa en las figuras 21 y 22.

**Figura 21**

*Diagrama giro de motor horario - Simulamos en CADe SIMU*

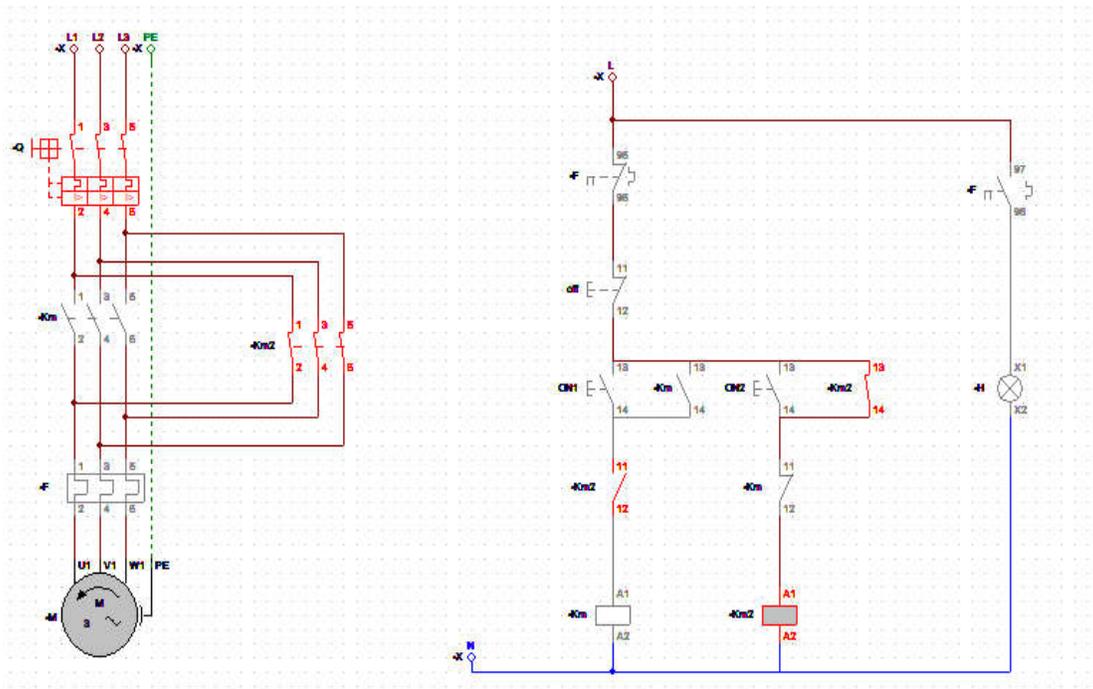


Fuente: elaboración propia.

**Figura 22**

*Diagrama giro de motor anti horario - Simulamos en CADe SIMU*

## Dobladora de tubo redondo



Fuente: elaboración propia.

En la simulación se utiliza los siguientes componentes: sistema de fuerza y motor trifásico: basta con invertir una fase para lograr la inversión de giro. En la tabla 13 se presentan las características del motor.

**Tabla 13.**

*Características del motor*

<b>Marca</b>	Baldor Electric
<b>Velocidad</b>	1725 RPM
<b>Voltaje</b>	460 voltios
<b>Potencia</b>	3/4 caballos
<b>Dimensiones del artículo LxWxH</b>	16.3 x 11.7 x 11 pulgadas
<b>HZ</b>	60
<b>Ser.</b>	w2-89
<b>AMPS</b>	3 2-3. o/1.5
<b>NEMA NOM EFF.</b>	75%
<b>CLASS</b>	B
<b>PH</b>	3

Fuente: elaboración propia.

### 6.3.20. Líneas de Alimentación Trifásicas

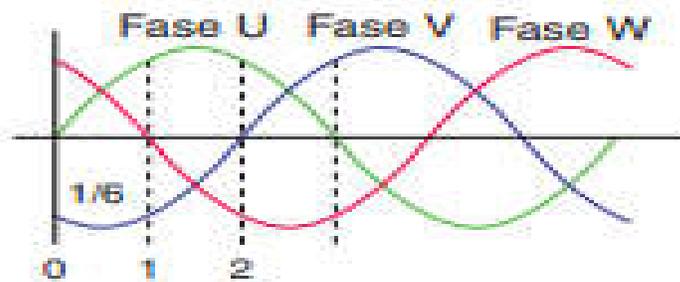
Un sistema trifásico consta de tres fases o líneas de alimentación alterna de frecuencia idéntica y amplitud similar, cada línea o fase de alimentación de AC se encuentra separada 120 grados eléctricos con respecto a la otra.

Las tres fases separadas por el vector generado se pueden utilizar para crear un campo magnético en un motor, por lo tanto, los motores pueden arrancar sin necesidad de devanados y/o capacitores auxiliares.

Algo que no ocurre con motores monofásicos porque estos necesitan forzosamente de capacitores y/o devanados auxiliares para poder trabajar. Para comprender lo anterior se observa la figura 23.

#### Figura 23

Gráfica de 3 fases



Fuente: Mheducation, 2012.

### 6.3.21. Disyuntor Manual

## Dobladora de tubo redondo

Un disyuntor es un interruptor automático que corta el paso de corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones. Sirve para proteger a las personas y a los dispositivos eléctricos. En la figura 24 podemos observar un disyuntor manual.

- Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásicos o trifásicos.
- Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo.
- Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir.
- Poder de cierre: Intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños.
- Número de polos: La cantidad de conectores que podemos conectar al dispositivo.

Los principales tipos de disyuntores son:

- Disyuntor térmico
- Disyuntor magnético
- Disyuntor magnetotérmico
- Disyuntor diferencial.

### Figura 24

*Disyuntor*



Fuente: Mheducation 2012.

### 6.3.22. Contactor

El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico. Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos eléctricos relacionados con instalaciones de motores. Un contactor como se observa en la figura 25 funciona aplicando un voltaje a la bobina, esto crea un campo magnético que mueve los contactos a la posición cerrada y completa el circuito. Una vez que se elimina el voltaje de la bobina.

#### Figura 25

*Contactor*



Fuente: C&D tecnologia, 2022.

### 6.3.23. Relé Térmico Protege Motor Trifásico

Los relés térmicos o relés térmicos de sobrecarga son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua. por lo que se utiliza principalmente en motores, con lo que se garantiza

## Dobladora de tubo redondo

alargar su vida útil y la continuidad en el trabajo de máquinas, evitando paradas de producción y garantizando volver a arrancar de forma rápida y con seguridad. Ver figura 26.

### Figura 26

*Relé térmico*

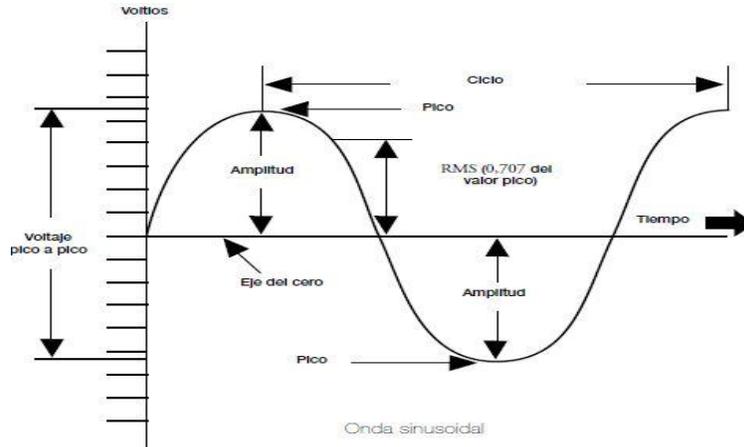


Fuente: Tramontina, 2022.

**Línea o fase.** Es un conjunto de instalaciones de un sistema eléctrico que operan interconectadas entre sí, con el objeto de generar, transportar y distribuir energía eléctrica en dicho sistema eléctrico. Para nuestro caso de las 3 fase que tenemos en el sistema utilizamos 1 línea o fase para energizar nuestro control de mando, Este término hacer referencia al conductor activo, es decir el conductor que transporta la corriente eléctrica normalmente desde la red hasta un enchufe o interruptor de nuestra casa u oficina. El cable de fase es por el que entra la corriente eléctrica, por lo general el color del cable es negro, marón o rojo.

### Figura 27

*Fase en forma senoidal*



*Nota.* A continuación, se representa una fase en forma senoidal relación en tiempo y voltios.

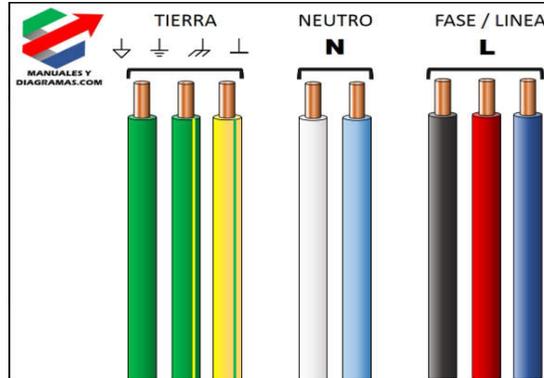
Fuente: Tramontina, 2022.

**Línea neutra.** El neutro es un conductor con potencial 0 o diferencia de potencial 0. Su función es precisamente crear un desequilibrio, una diferencia de potencial que permita la existencia de corriente eléctrica por el conductor de Fase. Sin el neutro no puede producirse la corriente eléctrica a no ser que la diferencia de potencial se genere utilizando directamente la tierra.

En teoría en el neutro no hay tensión con respecto a tierra, por lo que en teoría no se produciría electrocución al tocarlo, sin embargo, no te confíes, no hay que tocar nunca ningún cable sin cerciorarse previamente de que no circula ninguna corriente, por lo general el color del cable es blanco o gris.

## Figura 28

*Colores básicos en instalación electrónica*



Fuente: Tramontina, 2022.

### 6.3.24. Contactos Totalmente Abierto y Cerrado

**Pulsador de paro.** Un botón pulsador de parada de emergencia es un interruptor de control a prueba de fallos que proporciona seguridad para la maquinaria y para la persona que utiliza la maquinaria.

**Figura 29**

*Pulsador paro de emergencia*



Fuente: Tramontina, 2022.

### **Pulsador de marcha ON1 con retroalimentación y pulsador de marcha ON2.**

Un pulsador eléctrico o botón pulsador es un componente eléctrico que permite o impide el paso de la corriente eléctrica cuando se aprieta o pulsa, Para que el pulsador funcione debe tener un resorte o muelle que hace que vuelva a la posición anterior después de presionarlo.

**Pulsador Cerrado.** Los 2 bornes están juntos y el pulsador permite el paso de la corriente eléctrica.

**Pulsador Abierto.** Los 2 bornes están separados y el pulsador corta o no permite el paso de la corriente eléctrica.

### **Figura 30**

*Pulsadores*



Fuente: elaboración propia.

### **6.4. Marco Legal**

Los tubos de acero son una materia prima elemental en la industria manufacturera, se usan para ensamblar una gran cantidad de productos como redes para la conducción de fluidos, energía y telecomunicaciones, transporte de materiales industriales, fabricación de maquinaria y aplicaciones en el medio urbano como estructuras de techos, escaleras, pasamanos y carrocerías,



## **Dobladora de tubo redondo**

entre otros usos. Según el marco legal colombiano desde el decreto 177 de 1956 derogado por el artículo 64 de la ley 81 de 1988 se fomenta la industria metalúrgica vinculada a la fabricación de motores y vehículos automotores en el país y su vez elementos metalúrgicos.

Por otra parte, se tiene en cuenta la norma técnica NTC colombiana 2289 de 2015 sobre barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto.

Se considera la normativa de tubos de acero al carbono según ASTM, Norma A-53 grado A con una resistencia máxima a la tracción de 330MPa. Las paredes con más espesor a la establecida y los materiales con más resistencia reducen las capacidades de la máquina.

PROHIBIDA SU COPIA

## **7. Diseño de Aspectos Metodológicos**

### **7.1. Línea de Investigación**

Las líneas de investigación a tener en cuenta son las tecnológicas, ciencias e innovación para contemplar los métodos tradicionales y buscar de una mejora en el proceso de curvadora de tubo mediante mecanismos eléctricos y mecánicos, que ayuden a la región nariñense a buscar nuevas alternativas de diseños de máquinas o equipos industriales.

### **7.2. Enfoque**

Se tiene como objetivo realizar un proceso selectivo de diseño con el cual se busque una mejora en la empresa DEINOX con el fin de abastecer un mercado en expansión con una maquina dobladora de tubo que brinde las cantidades diaria de dobleces de tubo en alrededor de 250 dobles por días, que equivaldría a unas 125 manijas de seguridad sin importar cual tamaño se vaya a emplear.

### **7.3. Método**

El método por el cual esta investigación se centra va a hacer mediante un método deductivo que cumpla con los criterios generales de ingeniería y diseño.



## 8. Elementos de Administración y Control

### 8.1. Recursos Físicos y Técnicos

Se dispondrá el taller de la empresa DEINOX como recurso físico de sus instalaciones dado que cuentan con herramientas manuales e industriales que se nombran a continuación

- Herramientas manuales: pulidora eléctrica, taladro eléctrico, atornilladores calibrador, martillo, flexómetro, multímetro, llaves inglesas, mesa de trabajo, entre otras.
- Herramientas industriales: quipos de soldadura, torno, fresadora, compresor.

### 8.2. Talento Humano

El grupo de profesionales e investigadores que va a llevar a cabo este proyecto: asesor de proyecto ingeniero mecánico, asesor técnico de mecanizado y un investigador.

### 8.3. Presupuesto

Los costos de fabricación están relacionados con maquinados de piezas de acero al carbón, soldaduras de estructura y sus partes, ensamblaje, armado y alistamiento de los sistemas de la dobladora de tubo y diseños. En la tabla 14 se presentan los costos de transmisión de potencia, así como en la tabla 15 y 16 se presentan los costos de sistema de control y costos de mecanismo y estructura respectivamente.

**Tabla 14.**

*Costos transmisión de potencia*

<b>Sistemas de transmisión</b>		
<b>Elementos mecánicos</b>	<b>cantidad</b>	<b>Valor</b>
eje de acero	\$	60.000



catarinas	\$	250.000
lamina de acero calibre 16	\$	160.000
rodamientos	\$	120.000
moto reductora	\$	1.300.000
total	\$	1.890.000

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 15.**

*Costos sistema de control*

Sistema de control			
Pulsadores	1	\$	15.000
terminales	10	\$	60.000
cables flexibles 4x14agw	20 m	\$	36.000
caja plastica	1	\$	28.000
Contactores	1	\$	80.000
Total		\$	219.000

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 16.**

*Costos mecanismos y estructura*

Fabricación de los sistemas dobladora		
Mecanismos	tiempo de fabricación	Valor
mordaza de sujeción	4 días	\$ 420.000
bloque formador	3 días	\$ 300.000
Matriz	3 días	\$ 200.000



## Dobladora de tubo redondo

transmisión de engranajes	1 día	\$ 600.000
sistema de posición	1 día	\$ 150.000
estructura	5 días	\$ 300.000
Diseño	3 días	\$ 250.000
sistema eléctrico	2 días	\$ 400.000
total		\$ 2.620.000

Fuente: elaboración propia.

### 8.4. Costos de Ingeniería

Para los costos de ingeniería se considera aplicar el 30% del costo total de los materiales de fabricación

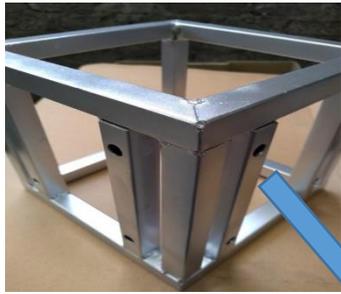
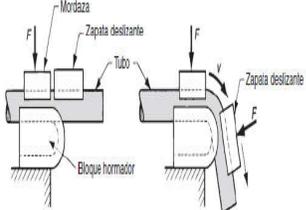
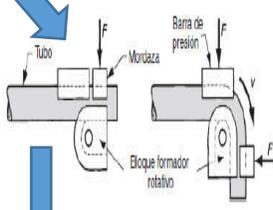
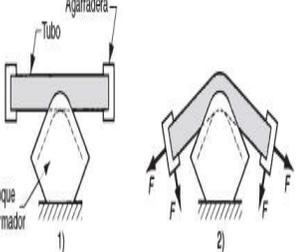
- Costos de ingeniería= 30% (costo de sistema de transmisión + sistemas dobladora + sistema de control)
- Costo de ingeniería= 30% (1.890.000+2.620.000+219.000) = 30% (4.729.000) = 1.418.700
- Costo de ingeniería = 1.418.700

### 9. Propuesta de Diseño

A continuación, en la figura 31 se observa la matriz morfológica.

**Figura 31**

*Matriz morfológica*

Funciones	A	B	C
Estructura			
Doblar			
Transmisión			
Sistema			
Operación			

## Dobladora de tubo redondo



Final  
proceso



PROHIBIDA SU COPIA

## 10. Diseño del Detalle

### 10.1. Viabilidad de Curvatura del Tubo a Doblar

De acuerdo con la ecuación 1 se tiene que:

$$K = \frac{60mm * 0.554mm}{25.40^2} = 0.051$$

K=0.051 para tubo redondo calibre 20 de acero inoxidable de referencia 304

$$K = \frac{60mm * 0.729mm}{25.40^2} = 0.067$$

K=0.067 para tubo redondo calibre 18 de acero inoxidable de referencia 304

Por consiguiente, nuestro factor K está en el rango de  $0.08 > K > 0.05$  lo cual nos indica que debemos utilizar un mandril articulado interno y dado alisador.

### Alargamiento tubos metálicos

Con la ecuación 2 planteada anteriormente, se tiene que:

**Grado de dobles 90°**

$$Z = \frac{120mm * \pi}{360} * 90^\circ = 94.2mm$$

**Grado de dobles 45°**

$$Z = \frac{120mm * \pi}{360} * 45^\circ = 47.12mm$$

**Grado de dobles 180°**

## Dobladora de tubo redondo



$$Z = \frac{120\text{mm} * \pi}{360} * 180^\circ = 188\text{mm}$$

### 10.2. Radio de Curvatura Mínimo

La calidad de las curvas obtenidas al doblar un tubo de acuerdo con la ecuación 3 es:

$$f_c = \frac{60\text{mm}}{25.40\text{mm}} = 2.36$$

Valores de  $F_c$  entre 1 y 2, indican que el doblado es de alta dificultad, por lo tanto, es necesario calentar el tubo o utilizar elementos de relleno como mandriles, resina, alquitrán o arena seca para evitar que se produzcan defectos de calidad. El valor recomendado del factor de curvatura está en un rango de 2.5 a 3.5, en el cual el doblado se considera simple.

### 10.3. Momento de Inercia para Tubos

Según la ecuación 4 planteada, el momento de inercia para tubo calibre 20 en acero inoxidable 304

**D:** 0.0254m

**d:** 0.024292m

$$I = \frac{\pi}{64} (0.0254\text{m}^4 - 0.02492\text{m}^4)$$

$$I = 3.338 * 10^{-9}\text{m}^4$$

Momento de inercia para tubo calibre 18 en acero inoxidable 304

**D:** 0.0254m

**d:** 0.023942m



$$I = \frac{\pi}{64} (0.0254m^4 - 0.023942m^4)$$

$$I = 4.3025 * 10^{-9}m^4$$

De acuerdo con la ecuación 6, para calcular la distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se calculará el esfuerzo se tiene que:

$$C = \frac{0.0254m}{2} = 0.0127m$$

El eje neutro para los dos tubos es el mismo ya que cambia es el espesor y diámetro interno.

Por lo tanto, en este caso Teniendo en cuenta que para este caso  $\sigma > s_y$ , y que  $M = F \cdot R$

Sy: resistencia de fluencia: para el acero inoxidable de referencia 304 es 35Ksi o 241 Mpa.

#### 10.4. Fuerza Tubo

Calculamos la fuerza necesaria de acuerdo con la ecuación 7

$$F = \frac{6 * (241Mpa) * (3,338 * 10^{-9}m^4)}{0.060m * 0.0127m}$$

$$F = 6334.3N$$

Fuerza necesaria para doblar un tubo de 1" calibre 20 acero inoxidable 304. F=6334.3N

## Dobladora de tubo redondo



$$F = \frac{6 * (241Mpa) * (4.3025 * 10^{-9}m^4)}{0.060m * 0.0127m}$$

$$F = 8164.6N$$

Fuerza necesaria para doblar un tubo de 1" calibre 18 acero inoxidable 304. F=8164.6N

### 10.5. Momento Plástico

Según la ecuación 8 el momento plástico se calcula así:

$$MP = \frac{3 * (241Mpa) * (3.338 * 10^{-9}m^4)}{2 * 0.0127m}$$

$$MP = 95.01N_M$$

Momento plástico para tubo de 1" calibre 20 acero inoxidable 304 = 95.01Nm

$$MP = \frac{3 * 241Mpa * 4.3025 * 10^{-9}m^4}{2 * 0.0127m}$$

$$MP = 122.46N_M$$

Momento plástico para tubo de 1" calibre 18 acero inoxidable 304 = 122.468Nm

### 10.6. Esfuerzo

Siguiendo la ecuación 9 para calcular el esfuerzo se tiene:

$$\sigma = \frac{95.01Nm * 0.0127m}{3.338 * 10^{-9}m^4}$$

$$\sigma = 361.4Mpa$$

Para tubo calibre 20 comprobamos que si se cumple dado que  $\sigma > s_y = 361.4Mpa > 241Mpa$

$$\sigma = \frac{122.46N_M * 0.0127m}{4.3025 * 10^{-9}m^4}$$

$$\sigma = 361.4Mpa$$

Para tubo calibre 18 comprobamos que si se cumple dado que  $\sigma > s_y = 361.4Mpa > 241Mpa$

### 10.7. Cálculo de Torque

Según la ecuación 10, torque es igual a:

$$T = 6334.3N * 0.060m$$

$$T = 380.04Nm = 280.303lb*ft$$

Torque tubo calibre 20: 280.303lb\*ft

$$T = F * R$$

$$T = 8164.6N * 0.060m$$

$$T = 489.87Nm = 361.30lb*ft$$

Torque tubo calibre 18= 361,30lb\*ft

### 10.8. Potencia de Motor

Según la ecuación 11 se tiene que:

## Dobladora de tubo redondo



$$\frac{5}{\text{min}} = \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} * \frac{1\text{m}}{60\text{s}} = 0.523\text{rad/s}$$

$$W_{\text{dob}} = 0.523\text{rad/s}$$

Con este cálculo sabemos a qué velocidad gira el tubo a doblar, ahora realizamos el cálculo de potencia del motor teniendo en cuenta la ecuación 12

### Cálculo de potencia

Con la ecuación 13 se calcula

$$P = 361.30\text{lb} * \text{ft} * (0.523 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) * (\frac{1\text{HP}}{550\text{lb} * \text{ft}}) = 0.3435\text{HP}$$

Se considera un motor de 3/4 HP por futuros moldes a diseñar y es común mente comercial.

Luego, para calcular el motorreductor se tiene en cuenta la ecuación 14

$$N_e = N_a / r$$

$$N_e = \frac{0.3435\text{Hp}}{0.985} = 0.3487\text{HP}$$

Después, se busca la velocidad deseada al momento de doblar el tubo que anteriormente obtuvimos  $W=0.523\text{rad/s}$

$$W = 0.523 \frac{60\text{s}/\text{min}}{2\pi} = 5\text{rpm}$$

5 rpm es la velocidad deseada al momento de curvar un tubo de acero inoxidable

Posteriormente, con la ecuación 15 se obtiene la relación de velocidad teniendo en cuenta el modelo del motorreductor de la tabla 5.

$$i = \frac{1405rpm}{5rpm} = 281$$

Con el valor conseguido nos dirigimos a la columna de la tabla 5 de relación de velocidad seleccionando que motorreductor nos sirve, arrojando los valores de rpm=4.4; i=316.68 y modelo= F2FR 0.5.

Así bien, de la tabla de factor de servicio se calcula la potencia de mando con la ecuación 16, obteniendo 0.52 HP.

$$Nm = 0.3487 * 1.5 = 0.52HP$$

Finalmente, hallamos en la tabla 6 un motorreductor que esté por encima de lo hallado en la ecuación 16.

Para este caso en la tabla 6 en la columna de potencia de 0,7 HP se busca la relación de transmisión por encima de 281 arrojando un motorreductor de las siguientes características: rpm=4.5; i=316.68 y modelo= F2FR 0.75.

Teniendo en cuenta que los cálculos obtenidos arrojan un valor de motorreductor siempre y cuando el funcionamiento fuera directo al eje de la máquina, sin embargo, el motorreductor de uso comercial en la ciudad de Pasto utilizado tiene una salida de 28 rpm, por lo tanto, es necesario ajustar los cálculos adicionándole piñón y cadena para alcanzar la velocidad efectiva de la dobladora en 5 rpm.



## Dobladora de tubo redondo

De acuerdo a lo mencionado, a continuación, en la tabla 17 se encuentran los valores reales del motorreductor seleccionado.

**Tabla 17.**

*Datos del motor*

velocidad del motor	1725 RPM
velocidad reductora	28RPM
velocidad deseada	5 RPM
factor de servicio tabla	1.3
Potencia	3/4 HP
D eje salida reductor	1-1/8in

Fuente: elaboración propia.

### 10.9. Cálculo de Piñón y Cadena

De la ecuación 17, se calcula la potencia con el factor de servicio de la tabla 7

$$\frac{3}{4} * 1.3 = 0.975HP$$

P se aproxima a 1Hp

De acuerdo con el marco teórico teniendo en cuenta desde la ecuación 18, 19 y 20 se calculan:

Relación deseada

$$28RPM/5RPM = 5.6$$

Calculamos los números de la Catarina mayor

$$N_2 = 12 * 5.6 = 67.2$$

La Catarina mayor se necesitan 67 dientes

Calculamos la velocidad de salida deseada

$$n_2 = 28RPM \left( \frac{12}{67} \right) = 5.01RPM$$

Con esta ecuación comprobamos que el número de dientes de la Catarina 2 está correcto

De la tabla 18 y 19 seleccionamos el paso de la cadena para una sola hilera la cadena número 60 con  $p$  de 0.750 in o 3/4in, con lubricación por goteo o manual por sus bajas revoluciones o lubricación tipo A, como la maquina va a estar a temperatura ambiente de 5 a 38°C es recomendado utilizar lubricante SAE 30. De esa manera, calculamos los diámetros de las catarinas (Mott, 2006).

$$D_1 = \frac{0.750in}{\sin(180^\circ/12)} = 2.9in$$

$$D_2 = \frac{0.750in}{\sin(180^\circ/67)} = 16in$$

Calculamos la longitud de la cadena en pasos sabiendo que la distancia entre centros entre los ejes de la Catarina debe ser de 30 a 50 pasos. Se escoge el paso menor para reducir el espacio momento del montaje de la catarinas ósea 30.

## Dobladora de tubo redondo



$$L = 2 * 30 + \frac{67 + 12}{2} + \frac{(67 - 12)^2}{4\pi^2 * 30} = 102,05 \text{pasos}$$

La longitud en pasos es 102 pasos

Calculamos la distancia entre centros de las catarinas

$$C = \frac{1}{4 \left[ 102 - \frac{67 + 12}{2} + \sqrt{\left( 102 - \frac{67 + 12}{2} \right)^2 - \frac{8(67 - 12)^2}{4\pi^2}} \right]} = 29.9 \text{pasos}$$

C: 30pasos

Paras saber la distancia en pulgadas lo multiplicamos por los pasos de los dientes de la Catarina, es decir:

$$C = 30 * 0.750 \text{in} = 22.5 \text{ in}$$

La distancia entre centros es 22,5 in

Calculamos el arco de contacto de la cadena

$$\theta = 180^\circ - 2 * \sin^{-1} \left[ \frac{16 \text{in} - 2.9 \text{in}}{2 * 22.5 \text{in}} \right] = 157.8^\circ$$

Si cumple dado que el contacto mínimo debe de ser de 120°

$$\theta = 180^\circ + 2 * \sin^{-1} \left[ \frac{16 \text{in} - 2.9 \text{in}}{2 * 22.5 \text{in}} \right] = 213.8^\circ$$

A continuación, en la tabla 18, se presenta un resumen del diseño.

**Tabla 18.**

*Resumen de diseño*

Paso de la cadena #60 de 3/4de pulgada	
Longitud 102 paso*(0.750in)	76.5in
Distancia entre centros	22.5in máxima
Catarina de hilera simple	A60 3/4 in
Catarina pequeña	12 dientes
Catarina grande	67 dientes
Se estima que la cadena tiene una duración de 15000 horas por el diámetro de la Catarina menor	

Fuente: elaboración propia.

Continuando con el diseño, en la tabla 18 y 19 se presentan los tamaños de cadena de rodillos y las capacidades en caballos de fuerzas utilizadas respectivamente.

**Tabla 19.**

*Tamaños de cadenas de rodillos*

Tamaños de cadena de rodillos					
Número de cadena	Paso (pulg)	Diámetro del rodillo	Ancho del rodillo	Espesor de placa lateral	Resistencia promedio a la tensión (lb)
25	1/4	None		0.030	925
35	3/8	None		0.050	2100
41	1/2	0.306	0.250	0.050	2000
40	1/2	0.312	0.312	0.060	3700
50	5/8	0.400	0.375	0.080	6100
60	3/4	0.469	0.500	0.094	8500
80	1	0.626	0.625	0.125	14 500
100	1.1/4	0.750	0.750	0.156	24 000
120	1.1/2	0.875	1.000	0.187	34 000

## Dobladora de tubo redondo

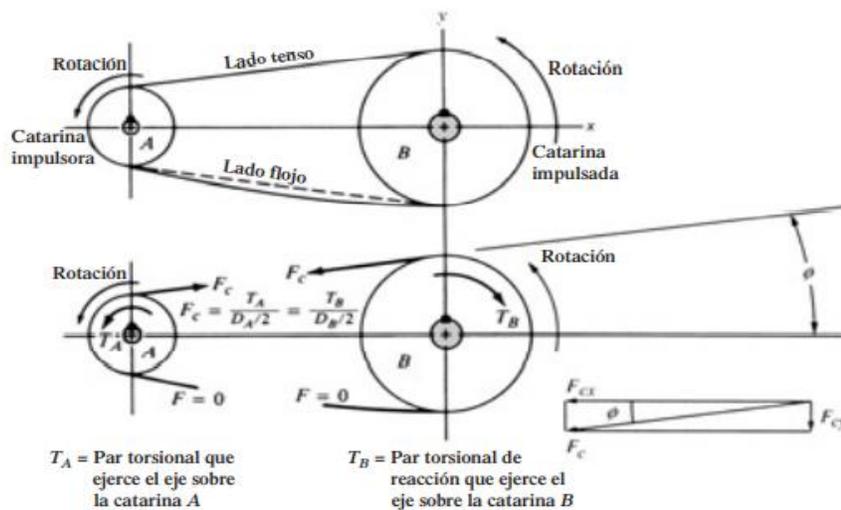
140	1.3/4	1.000	1.000	0.219	46 000
160	2	1.125	1.250	0.250	58 000
180	2.1/4	1.406	1.406	0.281	80 000
200	2.1/2	1.562	1.500	0.312	95 000
240	3	1.875	1.875	0.375	130 000

Fuente: elaboración propia.

En consecuencia, a lo anterior, en la figura 32 se muestra las fuerzas sobre las catarinas de cadena, seguido de la tabla 8 donde se evidencia los factores de servicio para transmisiones por cadena.

### Figura 32

Fuerzas sobre las catarinas de cadena



Fuente: Mott, 2006.

### 10.10. Cálculo del Eje

Calculamos  $F_c$  fuerza de la cadena

Para el caso de parte B donde con anterioridad calculamos el torque necesario para doblar tubo de 1 pulgada cal 18 obtuvimos  $T_B=487.87\text{nm}$  y diámetro mayor de  $16\text{in}=0.4064\text{m}$ .

$$F_c = \frac{2 * 487.87Nm}{0.4064m} = 2400.1N$$

La descomposición de fuerzas nos quedaría:

$$F_{cx} = 2400.1 * \cos(66) = 976.20N$$

$$F_{cy} = 2400.1 * \sen(66) = 2192.6N$$

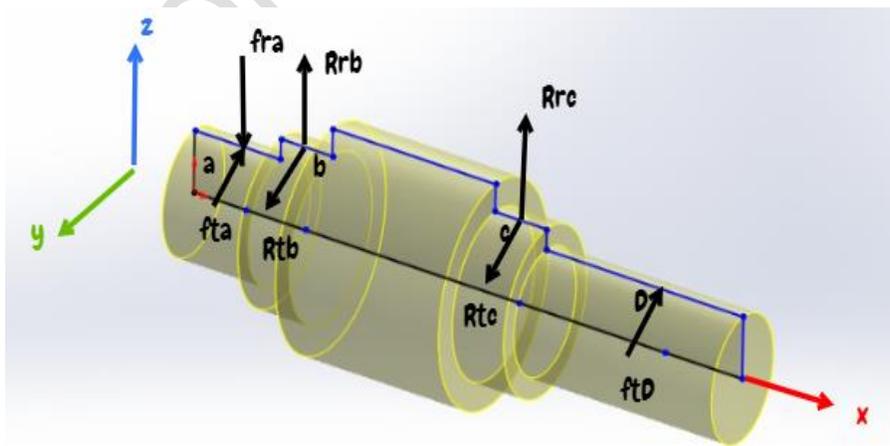
Con estas dos componentes de fuerza causarían flexión tanto en dirección X y Y en formas alternas el análisis se podría hacer en la dirección de la fuerza  $F_c$ , donde solo existe flexión en el plano, si el ángulo es pequeño causara un mínimo error si se supone que toda la fuerza  $F_c$  actúa en la dirección de X.

### 10.11. Esfuerzo de Diseño para un Eje

Para el cálculo del eje utilizaremos el factor de diseño N2 que el factor típico de ejes, para ejes que no sufren golpes.

#### Figura 33

*Diagrama de cuerpo libre eje principal*



Fuente: elaboración propia.

#### Fuerzas en el punto A

## Dobladora de tubo redondo



Calculamos el torque de entrada

$$T = 63000 \cdot P/n \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$T = 63000 * 0.75hp/5rpm = 9450lb * in$$

T=9450lb\*in o 1067.71N.m

Para calcular la fuerza en a aplicamos

$$F_a = \frac{2T_A}{D_A} \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$F_a = \frac{2 * 9450lb \cdot in}{16in} = 1181.25lb$$

Descomponiendo la fuerza  $f_a$  y con un Angulo de entrada de  $5^\circ$  obtenemos:

$$F_{ra} = 1181.25lb * \sin(5) = 102.95lb$$

$$F_{ra} = F_a * \sin \phi \quad (\text{Ecuación 34})$$

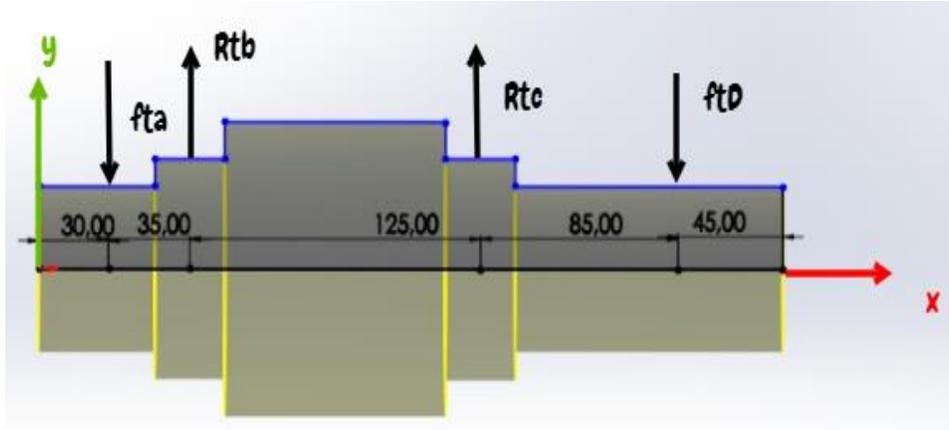
$F_{ra}=102.95lb$

$$F_{ta} = F_a * \cos \phi \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$F_{ta} = 1181.25lb * \cos(5) = 1176.75lb$$

## Figura 34

Diagrama fuerzas y reacciones XY



Fuente: elaboración propia.

$$\sum f_x = 0 \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$f_{tD} = 8164.6N$$

$$f_{ta} = 1176,75lb \text{ o } 5234.44N$$

Cálculo de fuerzas de reacción en el punto de apoyo B y C

Plano XY

$$\sum M_b = 0 \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$f_{ta}(35) + R_{Tc}(125) - f_{tD}(210) = 0$$

$$R_{Tc} = \frac{8164.6N * (210mm) - 5234.44 * (35mm)}{125mm} = 12251.08N$$

$$\sum f_y = 0 \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$-f_{ta} + R_{Tb} + R_{Tc} - f_{tD} = 0$$

$$R_{Tb} = f_{tD} - R_{Tc} + f_{ta}$$

$$R_{Tb} = 8164.6n - 12251.08 + 5234.44N = 1147.96N$$

## Dobladora de tubo redondo



$$R_{Tb} = 1147.96N$$

Con los datos obtenidos hallamos fuerzas cortantes y momentos cortantes:

$$V_{axy} = -5234.44N \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$V_{bxy} = V_{axy} + R_{tb} = -5234.44N + 1147.96N = -4086.48N$$

$$V_{bxy} = -4086.48N$$

$$V_{cxy} = V_{bxy} + R_{tc} = -4086.48N + 12251.08N = 8164.6N$$

$$V_{cxy} = 8164.6N$$

Momentos:

$$M_{axy} = 0 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$M_{bxy} = M_{axy} + V_{axy}(0.035m) = 0 - 5234.44N(0.035m) = -182.20N.m$$

$$M_{bxy} = -182.20N.m$$

$$M_{cxy} = M_{bxy} + V_{bxy} * 0.125m = -182.20N.m + (-4086.48N * 0.125m) \\ = -694.01N.m$$

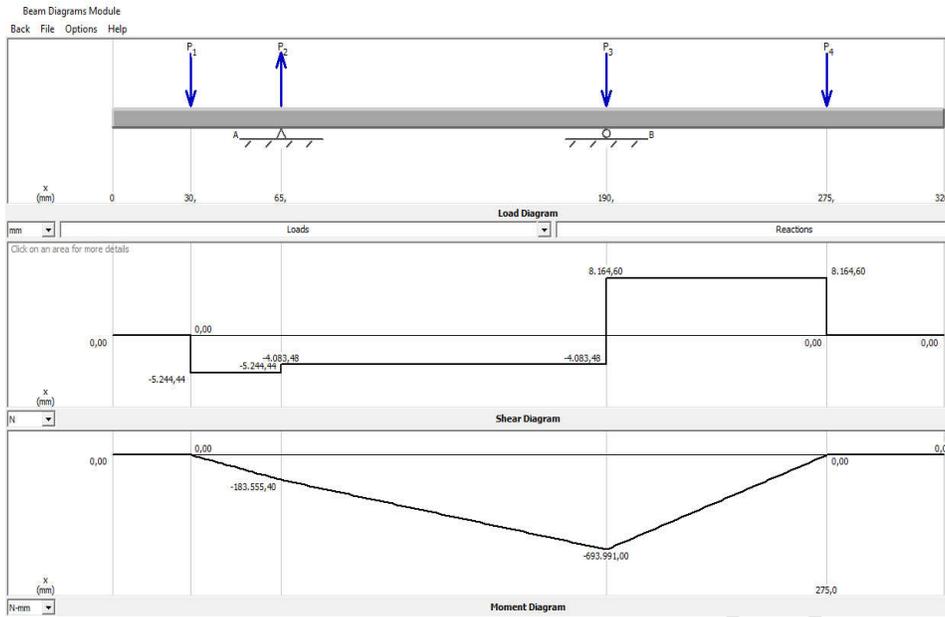
$$M_{cxy} = -694.01N.m$$

$$M_{dxy} = M_{cxy} + V_{cxy} * 0.085m = -694.01N.m + (8164.6N * 0.085m) = -0.024N.m$$

$$M_{dxy} = -0.024N.m$$

## Figura 35

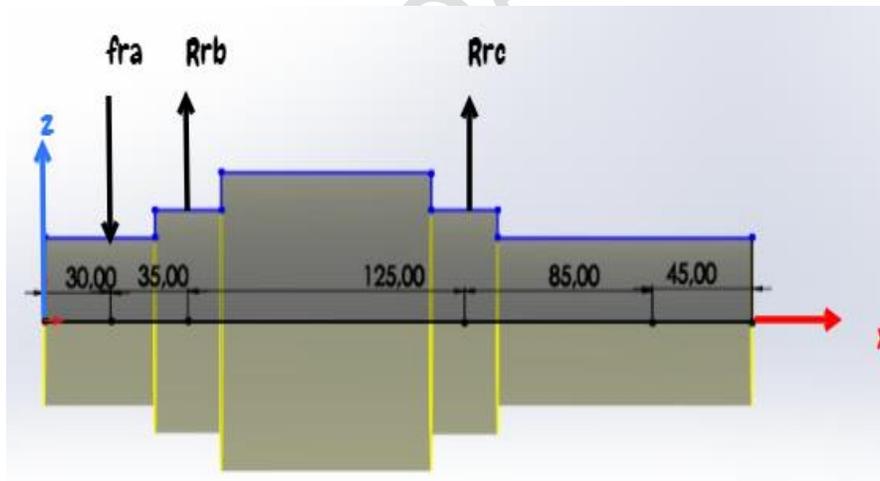
Fuerzas cortantes y momentos XY



Fuente: elaboración propia.

**Figura 36**

*Diagrama ZX*



Fuente: elaboración propia.

**Plano XZ**

Calculamos:

$$F_{ra} = 102.951 \text{ lb o } 457.81 \text{ N}$$

## Dobladora de tubo redondo



$$\sum M_c = 0 \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$f_{ra}(60\text{mm}) - R_{rb}(125) = 0$$

$$R_{rb} = \frac{f_{ra}(60\text{mm})}{125\text{mm}}$$

$$R_{rb} = \frac{457.81\text{N}(60\text{mm})}{125\text{mm}} = 219.74\text{N}$$

$$R_{rb} = 219.74\text{N}$$

$$\sum f_z = 0 \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$-f_{ra} + R_{rb} + R_{rc} = 0$$

$$R_{rc} = f_{ra} - R_{rb}$$

$$R_{rc} = 457.81\text{N} - 219.74 = 238.07\text{N}$$

$$R_{rc} = 238.07\text{N}$$

Con los datos obtenidos hallamos fuerzas cortantes y momentos cortantes:

$$V_{axz} = -457.81\text{N}$$

$$V_{bxz} = V_{axz} + R_{rb} = -457.87\text{N} + 219.74\text{N} = -238.07\text{N}$$

$$V_{bxy} = -238.07\text{N}$$

$$V_{cxz} = V_{bxz} + R_{rc} = -238.07\text{N} + 238.07\text{N} = 0$$

$$V_{cxz} = 0$$

$$M_{axz} = 0$$

$$M_{bxz} = M_{axz} + V_{axz}(0.035m) = 0 + (-457.81N * 0.035m) \\ = N.m$$

$$M_{bxz} = -16.023N.m$$

$$M_{cxz} = M_{bxz} + V_{bxz} * 0.125m \\ = -16.023N.m + (-238.07N * 0.125m) \\ = -45,78N.m$$

$$M_{cxz} = -45.78N.m$$

$$M_{dxz} = M_{cxz} + V_{cxz} * 0.085m = -45.78N.m + (0 * 0.085m) \\ = -45.78N.m$$

$$M_{dxz} = -45.78Nm$$

Fuerzas cortante resultantes

$$V_a = \sqrt{V_{axy}^2 + V_{axz}^2}$$

(Ecuación 43)

$$V_a = \sqrt{5234.44^2 + 457.81^2} = 5254.42N$$

$$V_a = 5254.42N$$

$$V_b = \sqrt{V_{bxy}^2 + V_{bxz}^2}$$

$$V_b = \sqrt{4086.48^2 + 238.07^2} = 4093.40N$$

## Dobladora de tubo redondo



$$V_b = 5254.42N$$

$$V_c = \sqrt{V_{cxy}^2 + V_{cxz}^2}$$

$$V_c = \sqrt{8164.6^2 + 0^2} = 8164.6N$$

$$V_c = 8164.6N$$

Momentos flectores resultante

$$M_a = \sqrt{M_{axy}^2 + V_{axz}^2} \quad (\text{Ecuación 44})$$

$$M_a = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0$$

$$M_a = 0$$

$$M_b = \sqrt{M_{bxy}^2 + M_{bxz}^2} \quad (\text{Ecuación 45})$$

$$M_b = \sqrt{183.2054^2 + 16.032^2} = 183.90N.m$$

$$M_b = 183.90N.m$$

$$M_c = \sqrt{M_{cxy}^2 + M_{cxz}^2} \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$M_c = \sqrt{694.015^2 + 45.78^2} = 695.56N.m$$

$$M_c = 695.56N.m$$

$$M_d = \sqrt{M_{dxy}^2 + M_{dxz}^2} \quad (\text{Ecuación 47})$$

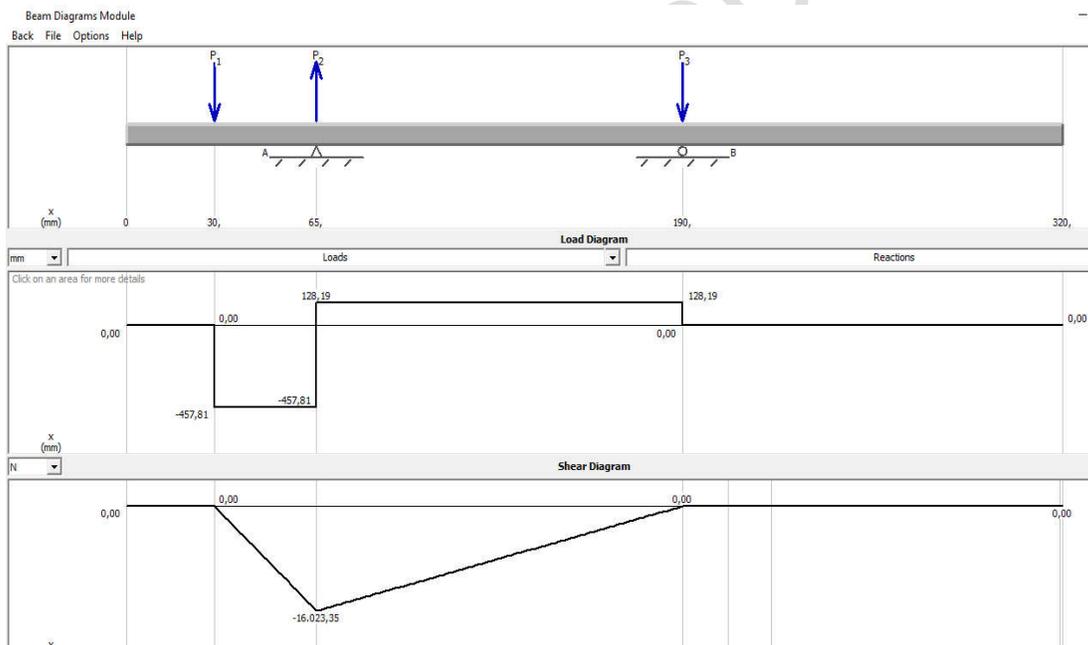
$$M_d = \sqrt{0.024^2 + 45.78^2} = 45.78 \text{ N.m}$$

$$M_d = 45.78 \text{ N.m}$$

Con las fuerzas halladas hacemos los diagramas de cortante y momento flector

**Figura 37**

*Fuerzas cortantes y momentos XZ*



Fuente: elaboración propia.

Calculamos las dimensiones de diámetro mínimo por media la de ecuación de esfuerzo combinado para no descartar ninguna variable por muy mínima que sea

## Dobladora de tubo redondo



$$D = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 48})$$

Donde:

De la tabla de confiabilidad obtenemos  $C_r=0.81$

De la tabla de factor de tamaño (aunque no se conoce el tamaño real en este momento se puede seleccionar  $C_s=1$ )

De la tabla de propiedades seleccionamos el material 1040 estirado en frío dado que es fácil de conseguir y cumple con los criterios de materiales para ejes. De la tabla obtenemos  $S_\mu = 80\text{KSI}$  o  $552\text{Mpa}$  y  $S_\gamma = 71\text{KSI}$  o  $490\text{Mpa}$

De la tabla de resistencia a la fatiga obtenemos el  $S_n=210\text{Mpa}$  calculamos  $S'n$

$$S'n = N_s * C_s * C_R \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$S'n = 210 \text{ Mpa} * 1 * 0.81 = 170.1 \text{ Mpa}$$

$$S'n = 170.1 \text{ Mpa}$$

Determinamos el primer diámetro mínimo requerido

**N:**2

**Kt:**1.6 cuñero de trineo

**T:** 1067.71N.m

**S'n:**170.1Mpa

**T:** 1067.71N.m



$S_y$ : 490Mpa

$M_a$ : 0

$$D_1 = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_1 = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 0}{170.1 * 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{1067.71}{49010^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_1 = 0.033m$$

$$D_1 = 3.3cm$$

Determinamos el 2 diámetro mínimo requerido

$N$ :2

$Kt$ : 2.5 rodamiento con chaflan agudo

$T$ : 1067.71N.m

$S'n$ :170.1Mpa

$T$ : 1067.71N.m

$S_y$ : 490Mpa

$M_b$ : 183.90Nm

$$D_2 = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

## Dobladora de tubo redondo



$$D_2 = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{2.5 * 183.09}{170.1 * 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{1067.71}{490 * 10^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_2 = 0.040m$$

$$D_2 = 4.0cm$$

Determinamos el 3 diámetro mínimo requerido:

**N:**2

**Kt:** 1.6 chaflan bien redondeado

**T:** 1067.71N.m

**S'n:**170.1Mpa

**T:** 1067.71N.m

**S $\gamma$ :** 490Mpa

**Mc:** 695.56Nm

$$D_3 = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S\gamma} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_3 = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 695.56}{170.1 * 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{1067.71}{490 * 10^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_3 = 0.051m$$

$$D_3 = 5.1cm$$

Determinamos el 3 diámetro mínimo requerido:

**N:**2

**Kt:** 2 cuñero de perfil

**T:** 1067.71N.m

**S'n:**170.1Mpa

**T:** 1067.71N.m

**S $\gamma$ :** 490Mpa

**Md:** 45.78Nm

$$D_4 = \left[ \frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{Kt * M}{s'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_4 = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{2 * 45.78}{170.1 * 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{1067.71}{490 * 10^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_4 = 0.034m$$

$$D_4 = 3.4cm$$

Diámetros mínimos requeridos para nuestro eje son:

$$D_1 = 3.3cm$$

$$D_2 = 4.0cm$$

$$D_3 = 5.1cm$$

$$D_4 = 3.4cm$$

Diámetros comerciales en pulgadas



## Dobladora de tubo redondo

$$D_1 = 1 - 1/8in$$

$$D_2 = 1 - 1/4in$$

$$D_3 = 2 - 1/8in$$

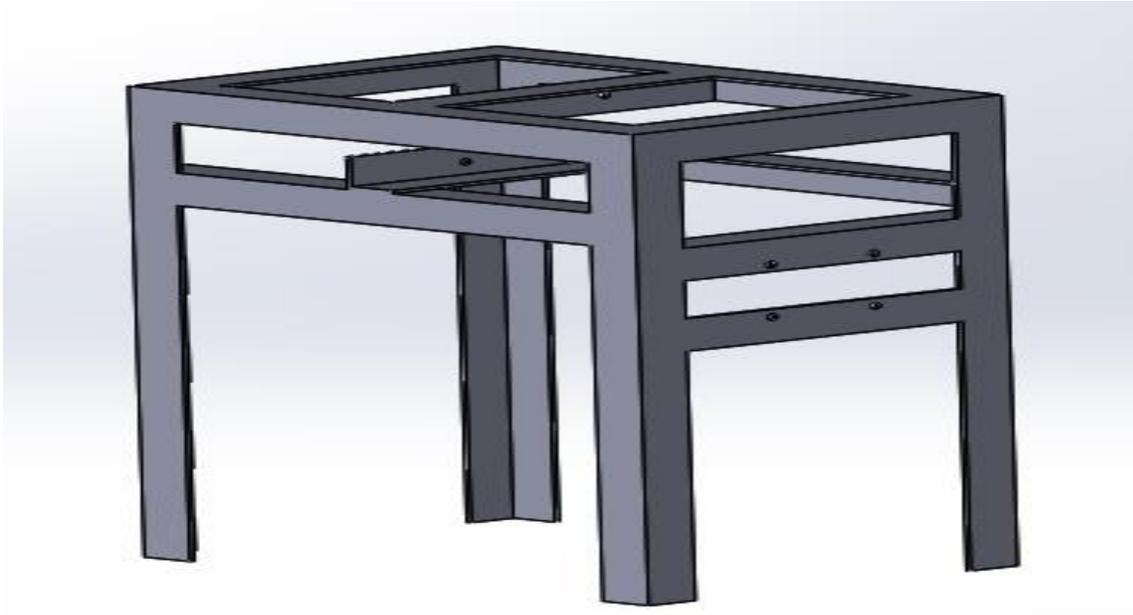
$$D_4 = 1 - 1/8in$$

### 10.12. Calculo Estructura

Para el cálculo de la estructura se tendrá en cuenta las fuerzas que actúan sobre las vigas y perfiles teniendo en cuenta los soportes necesarios para mantener estable estáticamente el motor y los mecanismos de doblado, así como la parte eléctrica. Una vez diseñada la estructura se realizará un análisis de elementos finitos con software SolidWorks. el método para calcular es por medio de vigas que generalmente son rectas horizontales que soportan cargas verticales y que trabajan a flexión. También tenemos los elementos de columnas o pilares que soportan cargas axiales de compresión.

#### **Figura 38**

*Estructura*



Fuente: elaboración propia.

El material para utilizar es ASTM A36 se tendrá en cuenta: factor de diseño, resistencia a la cadencia o fluencia, formas de carga, material dúctil o frágil y si hay impactos en la estructura.

Sabiendo las fuerzas de cada uno de los mecanismos y entrada del motor podemos calcular las cargas por consiguiente que material elegir con su resistencia a la fluencia.

La fuerza necesaria para doblar un tubo de 1 pulgada calibre 18 fue 8164N, fuerza de mecanismo y placa distribuida la obtenemos de la siguiente forma:

lamina de acero HR ASMT A36 de medidas  $0.70 \times 0.50 \times 0.0089\text{m}$  tiene como peso  $1\text{m}^3 = 7850\text{kg}$  si resolvemos obtenemos el peso de nuestra placa.

$$\text{Lámina} = 0.70\text{m} * 0.50\text{m} * 0.0089\text{m} = 0.033115\text{m}^3 \quad (\text{Ecuación 50})$$

## Dobladora de tubo redondo



$$\text{Lámina} = 0.003115\text{m}^3 * \frac{7850\text{kg}}{1\text{m}^3} = 24.54\text{kg}$$

Donde

$$f = m * g \quad (\text{Ecuación 51})$$

$f$ = fuerza

$m$ =masa

$g$ =gravedad

$$f = 24.54\text{kg} * 9.81\text{m/s}^2 = 240.73\text{N}$$

Con los otros componentes como rodamientos, tornillos, tuerca, catarinas, prensa, moldes y casquete obtuvimos al usar una báscula el peso de 19.8kg al realizar la anterior operación obtenemos:

$$f = 19.8\text{kg} * 9.81\text{m/s}^2 = 194.23\text{N}$$

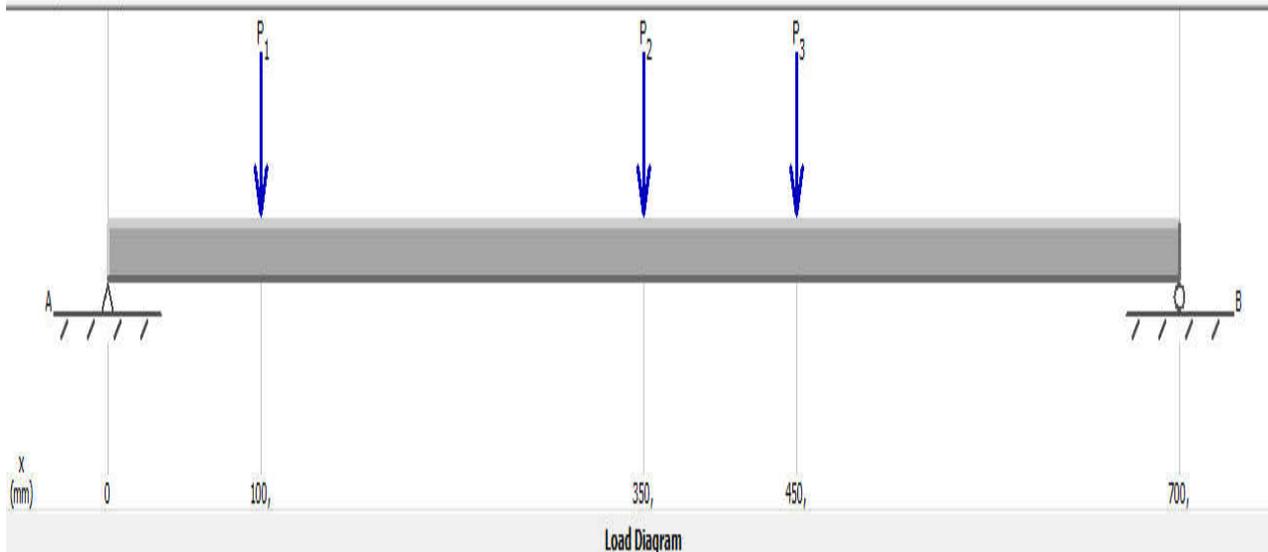
Al sumar las fuerzas anteriores nos da 434.96N de fuerza concentrada en el centro de la viga. Así como el peso donde se va a soportar motor reductor y su Catarina pequeña dándonos 28kg.

$$f = 28\text{kg} * 9.81\text{m/s}^2 = 274.68\text{N}$$

La última fuerza que soporta nuestra viga es la fuerza necesaria para doblar un tubo de acero inoxidable de 1 pulgada en calibre 18 el cual es de 8164N.

**Figura 39**

*Fuerzas sobre la viga*



Fuente: elaboración propia.

Al hallar las fuerzas que actúan sobre los soportes A y B con la sumatoria de fuerzas en  $X=0$  por consiguiente realizamos lo mismo con sumatorias de fuerzas en Y.

A continuación, la tabla 20 se tiene en cuenta a la hora de realizar el cálculo.

**Tabla 20.**

*Propiedades de estructuras aceros*

Propiedades de acero estructurales				
material ASTM Núm. y productos	resistencia máxima $S_u$		resistencia a la cadencia $S_y$	
	KSI	Mpa	KSI	Mpa
A36 perfiles placas y barra en acero al carbón	58	400	36	248

## Dobladora de tubo redondo



A242 perfiles placas y barras	70	483	50	348
A500 tubería estructural formada en frío	58	400	42	290

Fuente: elaboración propia.

Como la dobladora de tubo va a estar en una posición estática al momento de realizar los dobleces, se tendrá en cuenta la tabla 12 de propiedades de acero estructural. Escogemos A36 de perfiles y barras, ya que, comercialmente en la ciudad de pasto es fácil de conseguir este tipo de material. Cuyos valores son: ASTM A36.  $S_u=400\text{Mpa}$  y  $S_y=248\text{Mpa}$

Resolviendo tenemos:

$$\sum M_a = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{ax} = 0$$

$$-274.68N * (100mm) - 434.96N * (350mm) - 8164 * (450mm) + Rby(700mm) = 0$$

$$-27468N * mm - 152236N * mm - 3673800N * mm + Rby(700mm) = 0$$

$$-3853504N * cm + Rby(700m) = 0$$

$$Rby = \frac{3853504N * mm}{70mm} = 5505N$$

$$Rby = 5505N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ray - 274.68N - 434.96N - 8164N + Rby = 0$$

$$Ray - 274.68N - 434.96N - 8164N + 5505N = 0$$

$$Ray - 8873.64 + 5505N = 0$$

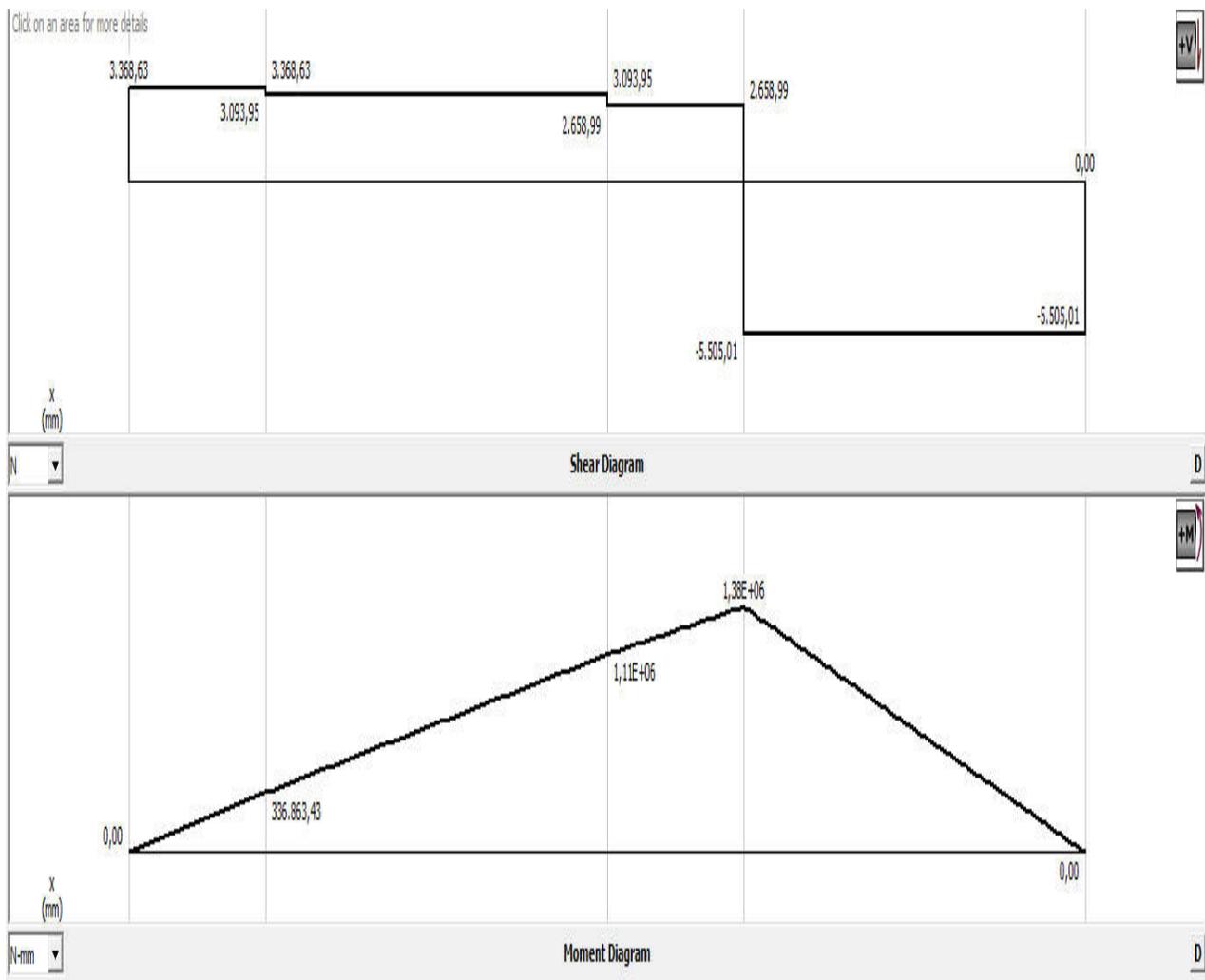
$$Ray - 3368.64N = 0$$

$$Ray = 3368.64N$$

Con los anteriores datos calculamos los momentos y esfuerzos cortante sobre la viga, del cual utilizaremos el momento máximo para poder calcular que tipo de material es el adecuado donde van a actuar las fuerzas. Así seleccionar la estructura para fabricar la máquina dobladora de tubo.

Figura 40

Esfuerzo cortantes y momentos sobre la viga



Fuente: elaboración propia.

### 10.13. Selección del Material

Diseño gobernado por el esfuerzo normal permisible, Con la figura 40 obtenemos el momento máximo de 1380000N\*mm, En la tabla de propiedades de estructuras de acero el material ATSM A36 la resistencia a la cadencia o fluencia es 248Mpa.

$$\delta = \frac{(M)_{\text{maximo}}}{S_y} \quad (\text{Ecuación 52})$$

$\delta$ = módulo de sección

(M)máximo= momento máximo

$S_y$ = resistencia a la cadencia

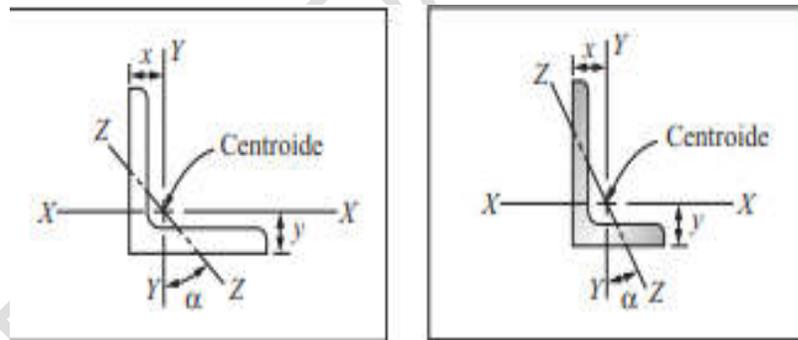
Donde  $248\text{Mpa}=248\text{N}*\text{mm}^2$

$$\delta = \frac{1380000\text{N} * \text{mm}}{248\text{N}/\text{mm}^2} = 5564.51\text{mm}^3$$

$$\delta = 5564.51\text{mm}^3$$

**Figura 41**

Ángulos de acero tipo L ASTM A36



Fuente: Mott, 2009.

**Tabla 21.**

Dimensiones peso y área de ángulos de acero tipo LASTM A36

Dimensiones		Peso		Área	I	r	S	X
pulgadas	mm	KG/m	Lb/pie	cm <sup>2</sup>	4cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm
2x1/8	50.8x3.3	2.46	1.65	3.15	7.91	1.60	2.13	1.40
2x1/4	50.8x6.3	4.75	3.19	6.09	14.57	1.55	4.10	1.50
2x3/8	50.8x9.5	6.99	4.70	8.75	19.98	1.50	5.74	1.63

## Dobladora de tubo redondo

2	1/2x3/16	63.5x4.8	4.61	3.09	5.87	22.89	1.96	4.92	1.75
2	1/2x1/4	63.5x6.3	6.10	4.10	7.72	29.14	1.96	6.39	1.83
2	1/2x5/16	63.5x7.9	7.44	5.00	9.41	35.38	1.93	7.87	1.88

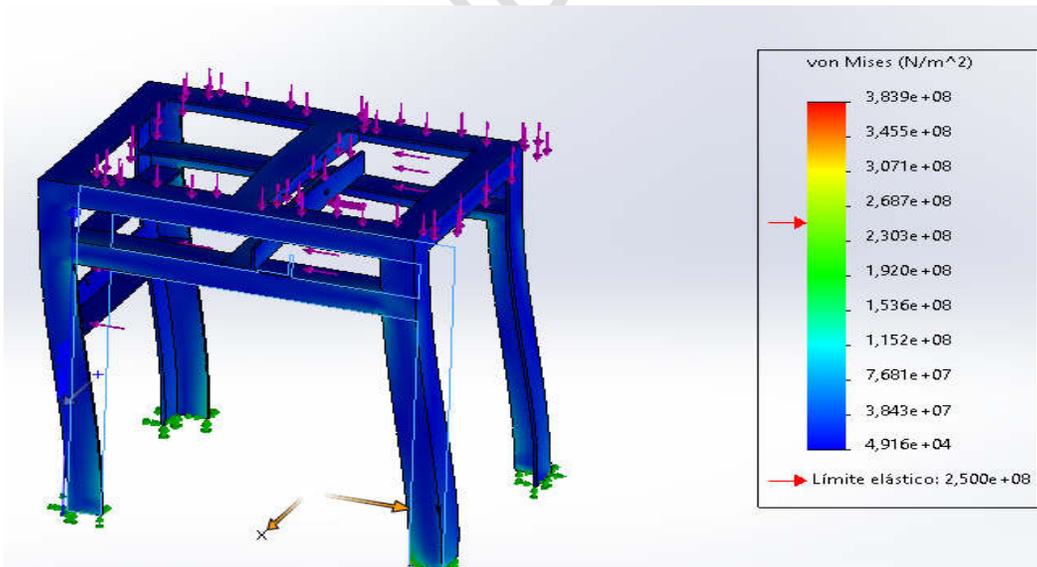
Fuente: elaboración propia.

De la tabla 21 podemos seleccionar el tipo de material el cual vamos a utilizar en la estructura de la máquina dobladora de tubo que es la referencia de 2x3/8 o de 2 ½ x1/4 que son los valores más aproximados del módulo de selección se tomara el más económico comercialmente.

El análisis estático de nuestra estructura con sus respectivas fuerzas nos da como resultado en simulación de SolidWorks los siguiente.

### Figura 42

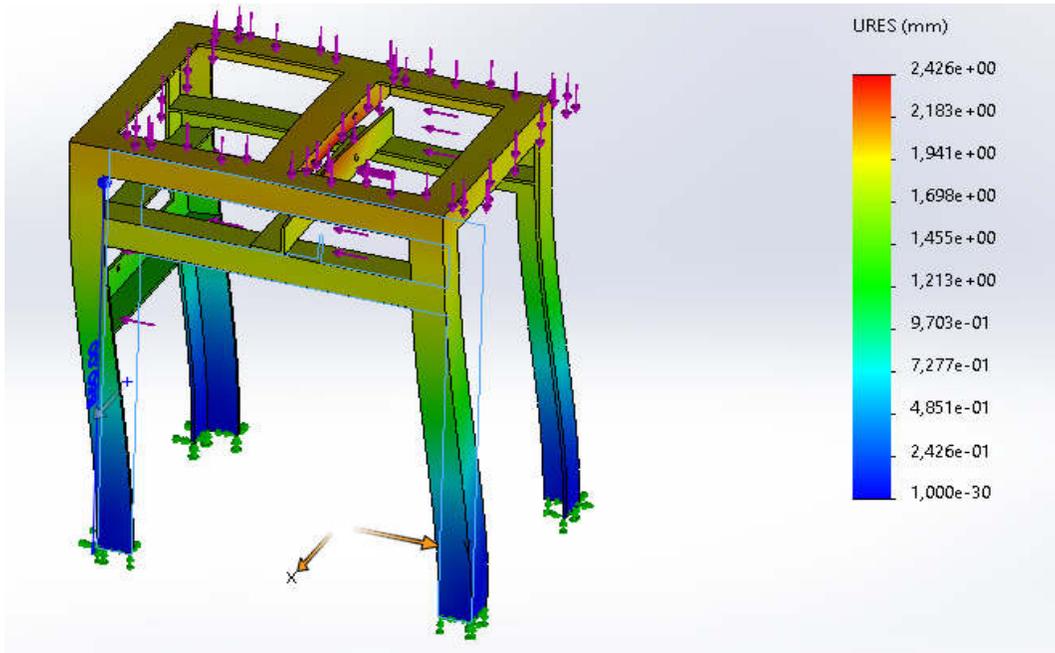
*Análisis estático tensiones*



Fuente: elaboración propia.

### Figura 43

### Desplazamiento en la estructura



Fuente: elaboración propia.

Donde la parte roja es la que más sufre desplazamiento y la azul es la que mejor se comporta la estructura

Con la ayuda figura 30 podemos seleccionar el tipo de material el cual vamos a utilizar en la máquina dobladora de tubo que es la referencia q L51\*51

#### 10.14. Cálculo eléctrico de gasto y beneficios

Para este apartado se tendrán en cuenta todos los dispositivos eléctricos que fueron empelados en la máquina dobladora de tubo, los cuales arrojan los costos de operación. Sacando el consumo de motor y parte eléctrica tenemos una sumatoria de 720w. También, considerando que el valor del Kwh estipulado por las Central Eléctrica de Nariño (CEDENAR) para el sector donde está ubicada la empresa Deinox, equivale a \$762.32 pesos. Con lo anterior, se calcula el consumo energético de la máquina funcionando 8 horas diarias, un mes o un año.

## Dobladora de tubo redondo



w: Watts

t: 1 hora

Kwh: Kilo watts por hora

$$Kwh = \frac{W * t}{1000} \quad (\text{Ecuación 53})$$

$$Kwh = \frac{720w * 1h}{1000} = 0.720 Kwh$$

$$\text{Valor a pagar} = Kwh * \text{Valor de Kwh}$$

$$\text{Valor a pagar} = 0,720 * 762.32 = 548.8$$

Valor para pagar por una hora de consumo energético de la maquina es igual a \$548.8 pesos (COP), de igual forma, un día de 8 horas costaría \$4390.4 pesos (COP), un mes con labor de 26 días costaría \$114.150 pesos (COP). y al año costaría \$1.369.804 pesos (COP).



## 11. Resultados

Para nuestra investigación nos guiamos del análisis matemático realizado anteriormente donde se obtuvieron las cargas necesarias para deformar plásticamente un tubo de 1 pulgada de diámetro con un espesor de 1.2 mm de material acero inoxidable referencia 304. La fuerza de doblado es 8164N y el torque es 380.04Nm respectivamente.

La potencia mecánica transmitida a través del sistema de catarinas es de  $\frac{3}{4}$  hp para doblar un tubo de diámetro de 60 mm y un diámetro de eje necesario en su mayor esfuerzo de 51mm de diámetro

El peso aproximado de la dobladora es de 320Kg el cual están incluidos los accesorios del molde de doblado, motor, sistemas mecánicos y estructura.

El costo total de la maquina dobladora de tubo es de 6.200.000 COP si le sumamos el gasto energético durante un año obtendremos 7.569.804 COP. sí al momento de realizar los dobleces diarios estipulados la inversión se recuperaría en un lazo 1 año dependiendo el margen de ganancia que estipulé la empresa.

El proceso obtuvo excelentes resultados con la dobladora los cuales fueron la reducción de operarios de 3 a 1 así como el momento de fabricación de manijas paso de 286 manijas mensuales a un promedio de 2400 manijas y el costo de manijas paso de 46000COP a 16000COP por lo cual se cumplió con lo planteado por la empresa DEINOX.



## **12. Conclusiones**

En la construcción del prototipo de máquina herramienta de dobladora de tubo se realizaron diferentes estudios tales como diseño, cálculos, desempeño y costos, lo que permitió brindar al momento de realizar los dobles un buen acabado superficial para ahorrar en costo de producción.

El margen de error de la maquina dobladora de tubo es de un 5% una vez se encuentra calibrada, para esto hay que hacer una serie de ensayos con el fin de obtener buenos resultados al momento de trabajar en serie o se recomienda colocar un dado que ayude a evitar las arrugarse internas llamado wiper die (limpia parabrisas) cumpliendo así el 99% de eficiencia al momento de doblar los tubos.

La implementación de la teoría de diseño facilitó la elaboración de los planos, ejes y piezas esenciales de elementos mecánicos en la máquina, para así poderlos adquirir en el mercado sin tener muchos costos al momento de la construcción, además, la identificación principal de la máquina dobladora de tubos para establecer la matriz morfológica y con ello la creación del diseño.

Por medio de la selección de elementos y componentes eléctricos y mecánicos, se establecieron las dimensiones mínimas para un correcto funcionamiento. Asimismo, el motor eléctrico con una potencia mínima de  $\frac{3}{4}$  de hp y con un sistema eléctrico trifásico de 380V se logra un buen funcionamiento.

Durante la elaboración de este proyecto se puede exponer que se logró el cumplimiento total de los objetivos planteados, porque se dispone una maquina dobladora de tubo redondo, la



cual dobla tubería de acero inoxidable en frío que satisface las necesidades de la empresa Deinox.

Para la fabricación de la máquina dobladora de tubos de una pulgada en calibre 20 y 18 en acero inoxidable 304, se tuvieron en cuenta los materiales locales que cumplen con los requerimientos de factor de seguridad  $n \geq 2$ , los materiales fueron ángulo de  $2 \frac{1}{2} * 1/4"$  ASTM 36A eje 1040 estirada en frío AISI.

Finalmente, se puede concluir que este proyecto si logró el objetivo principal que es la construcción de la máquina herramienta y el impacto que tendrá en la empresa Deinox. Así como la reducción de producción considerablemente y la efectividad al momento de realizar las manijas.

PROHIBIDA SU COPIA



### 13. Referencias

C&D tecnologia. (1 de octubre de 2022). *Contador trifásico / monofásico 32A 220V LC1*

*D1810*. <https://cdtecnologia.net/reles/583-contactor-trifasico-monofasico-32a-220v-lc1-d1810.html>

Cumbal Yánez, R. E., & España Gutiérrez, H. J. (2016). *Diseño y construcción de una máquina hidráulica dobladora de tubos semiautomática con rodillos intercambiables*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12216>

Gil, J. J. (2018). *Diseño de una máquina dobladora de tubo redondo metálico automatizada para la empresa COLDIDACTICAS LTDA*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://hdl.handle.net/10614/10444>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Gestión de procesos.

Schmid, S., & Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson Educación.



Metal Tools. (1 de octubre de 2022). *Dobladora de tubos BB*.

<https://metaltools.co/producto/dobladora-de-tubo-bb60-bb76/>

Moreno, G. (2013). *Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos hidráulica con accionamiento automático*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5995>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. PEARSON Educación.

Nargesa, N. (1 de octubre de 2022). *Curvadora de tubos Sin mandril CC60*.

CNC.<https://nargesa.com/es/maquinaria-industrial/curvadora-de-tubos-sin-mandril-cc60-cnc>

Norton, R. (2011). *Diseño De Maquinas Un Enfoque Integrado*. Diseño de Elementos de Máquinas.

Paredes, S. M. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de una maquina roladora de tubo cuadrado de 50x50x2 mm semiautomática*. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito].

Quinga, J. y Taco, P. (2009). *Construcción de un prototipo de dobladora manual para perfiles cuadrados de acero SAE 1018 de 20 y 25.4 mm de 1 a 2 mm de espesor* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1426?locale=en>



## Dobladora de tubo redondo

Tramontina. (1 de octubre de 2022). *Relé térmico de sobrecarga tramontina TRR 2 – 36 28 – 36*

A. <https://www.tramontina.com.br/es/p/58015347-602-rele-termico-de-sobrecarga-tramontina-trr2-36-28-36a>

WORKPAAL. (2002). *Maquinaria para carpintero.*

<https://www.maquinariaparacarpintero.com/es/p1/curvadoras-tubos-perfiles/dobladoras-de-tubos-perfiles/curvadora-de-tubos-manual-metallkraft-rb30>

Zuluaga, D. A. (2019). *MÁQUINA DOBLADORA DE TUBOS 1 ½”*. [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia].

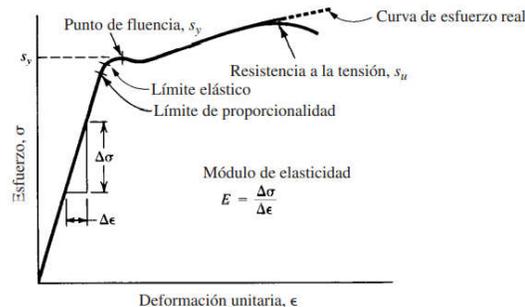
## 14. Anexos

### Anexo A

#### *Resistencia a la tensión*

##### Resistencia a la tensión, $s_u$

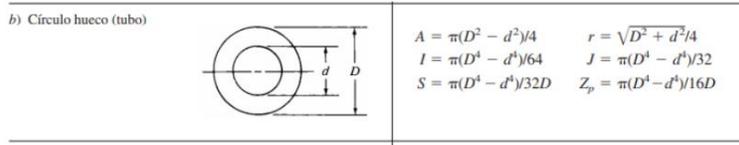
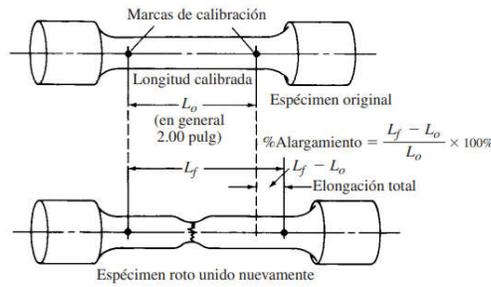
Se considera que el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación unitaria es la *resistencia última a la tensión* ( $s_u$ ), a veces se le llama *resistencia última* o simplemente *resistencia a la tensión*. En ese punto de la prueba se mide el máximo *esfuerzo aparente* en una barra de prueba del material. Como se muestra en las figuras 2-1 y 2-2, la curva parece descender después del punto máximo. Sin embargo, observe que la instrumentación utilizada para trazar los diagramas, en realidad, obtiene la gráfica de *carga contra deflexión* en lugar del *esfuerzo real contra deformación unitaria*. El esfuerzo aparente se calcula al dividir la carga entre el área de la sección



Fuente: Mott, 2006.

### Anexo B

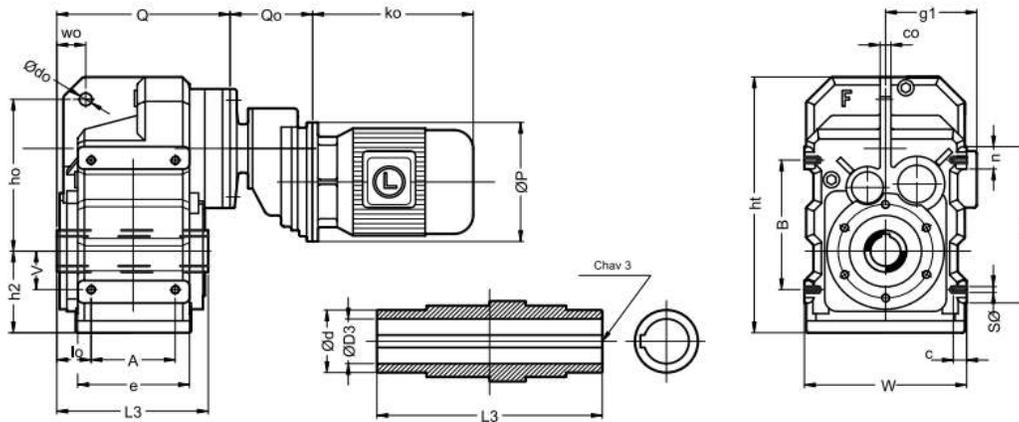
#### *Elongación de material*



Fuente: Mott, 2006.

### Anexo C

#### Solución técnica del motorreductor seleccionado



Modelo Model	D3Ø	L3	chav 3 keyway 3	A	B	SØ	V	lo	Q	Qo	Q2	W	B1Ø	R1Ø	a1Ø		
										IEC 71	IEC 80-90	IEC 100-112					
<b>F00FR</b>	mm 30	135	8x7	77	115	M8	31	25.5	154	110	125	---	168	165	130	165	200
	inch 1.188	5.5/16	1/4 x 1/8	3.1/16	4.1/2	UNC 5/16"	1.1/4	1	6.1/16	4.11/32	4.15/16	---	6.5/8	6.496	5.118	6.1/2	7.7/8
<b>F0FR</b>	mm 35	175	10x8	93	145	M10	43	43	189	110	125	---	196	180	180	215	250
	inch 1.375	6.7/8	5/16 x 5/32	3.11/16	5.11/16	UNC 3/8"	1.11/16	1.11/16	7.7/16	4.11/32	4.15/16	---	7.11/16	7.087	7.087	8.15/32	9.7/8
<b>F1FR</b>	mm 40	200	12x8	112	190	M12	60	41.5	214	110	125	---	226	212	230	265	300
	inch 1.625	7.7/8	3/8 x 3/16	4.7/16	7.1/2	UNC 1/2"	2.3/8	1.5/8	8.7/16	4.11/32	4.15/16	---	8.7/8	8.346	9.055	10.7/16	11.7/8
<b>F2FR</b>	mm 50	225	14x9	140	240	M16	70	40.5	240	110	125	---	256	270	250	300	350
	inch 2.000	8.7/8	1/2 x 1/4	5.1/2	9.7/16	UNC 5/8"	2.3/4	1.5/8	9.7/16	4.11/32	4.15/16	---	10.1/16	10.630	9.843	11.13/16	13.13/16
<b>F3TR</b>	mm 60	260	18x11	165	310	M16	100	50.5	285	130	145	152	296	330	350	400	450
	inch 2.375	10.1/4	5/8 x 5/16	6.1/2	12.3/16	UNC 5/8"	3.15/16	2	11.1/4	5.1/8	5.23/32	6	11.5/8	12.992	13.780	15.3/4	17.3/4
<b>F4TR</b>	mm 70	330	20x12	205	350	M20	120	59.5	345	130	145	152	362	400	350	400	450
	inch 2.750	13	5/8 x 5/16	8.1/16	13.13/16	UNC 3/4"	4.3/4	2.5/16	13.9/16	5.1/8	5.23/32	6	14.1/4	15.748	13.780	15.3/4	17.3/4

Fuente: Lentax, 2019.



**Anexo D**

*Materiales comunes diseño de piezas mecánicas*

**TABLA 2-4** Usos de algunos aceros

Número UNS	Número AISI	Aplicaciones
G10150	1015	Piezas moldeadas en lámina; partes maquinadas (se pueden cementar)
G10300	1030	Piezas de uso general, en forma de barra, palancas, eslabones, cuñas
G10400	1040	Ejes, engranes
G10800	1080	Resortes; piezas para equipo agrícola sometidas a abrasión (dientes de rastrillo, discos, rejas de arado, dientes de cortacéspedes)
G11120	1112	Piezas de máquinas con tornillo
G12144	12L14	Piezas que requieran buena capacidad de maquinado
G41400	4140	Engranes, ejes, piezas forjadas
G43400	4340	Engranes, ejes, piezas que requieran buen endurecimiento en interior
G46400	4640	Engranes, ejes, levas
G51500	5150	Ejes para trabajo pesado, resortes, engranes
G51601	51B60	Ejes, resortes, engranes con mejor templabilidad
G52986	E52100	Pistas de rodamientos, bolas, rodillos (acero para rodamientos)
G61500	6150	Engranes, piezas forjadas, ejes, resortes
G86500	8650	Engranes, ejes
G92600	9260	Resortes

Fuente: Mott, 2006.

**Anexo E**

*Decisiones de costo, seguridad entre otras*

**TABLA 15-1** Tabla de análisis de decisiones

Criterios	Alternativas			
	(a) Bandas	(b) Cadenas	(c) Engranes con acoplamiento flexibles	(d) Engranes con reductor con bandas en la entrada
1. Seguridad	6	6	9	7
2. Costo	9	8	7	6
3. Tamaño	5	6	9	6
4. Confiabilidad	7	6	10	7
5. Mantenimiento	6	5	9	6
6. Uniformidad	8	6	9	8
Totales:	41	31	53	40

Fuente: Mott, 2006.

**Anexo F**

*Propiedades mecánicas*

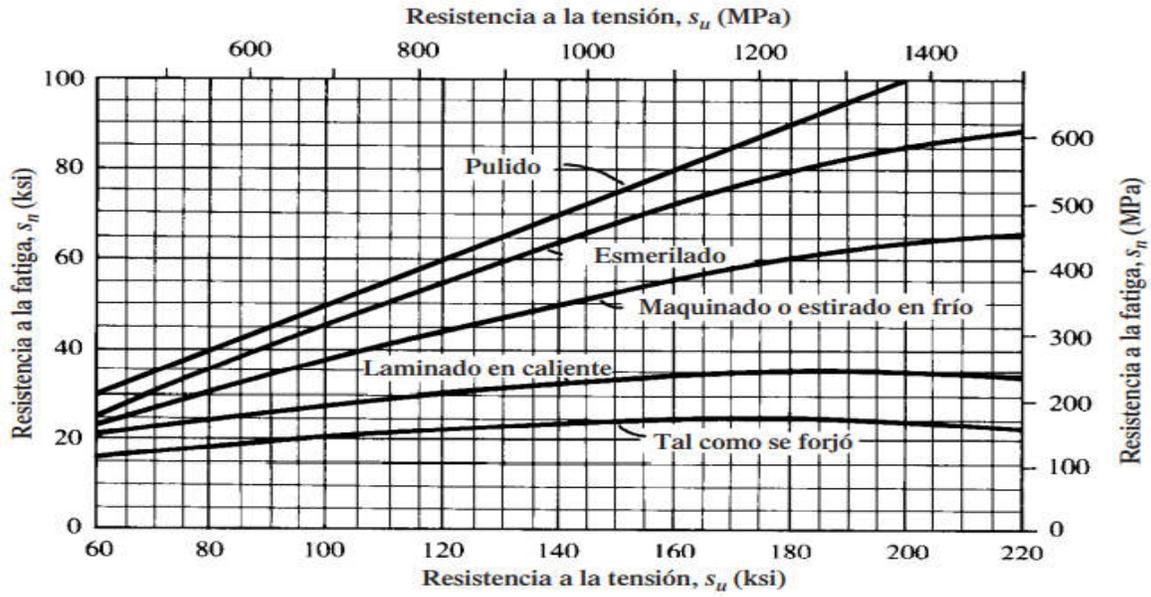
Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178

Fuente: Mott, 2006.

**Anexo G**

*Grafica resistencia a la fatiga*

PROHIBIDA S



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

Fuente: Mott, 2006.

PROHIBIDA SU

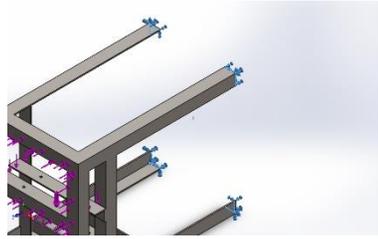


## Dobladora de tubo redondo

### Anexo H

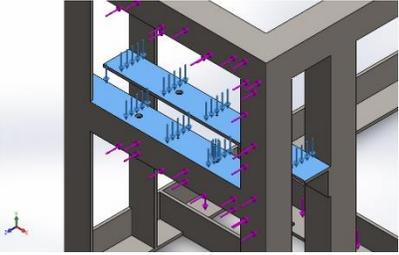
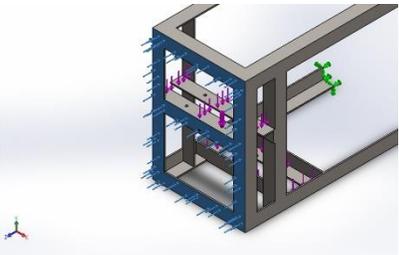
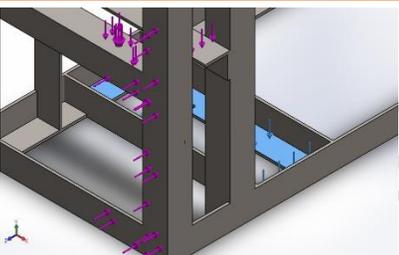
#### Estructura SolidWorks

#### Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<b>Entidades:</b>	<b>3 vértice(s), 7 arista(s), 1 cara(s)</b>	
		<b>Tipo:</b>	<b>Geometría fija</b>	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Con	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,000782013	8.438,68	434,96	8.449,88
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

**Dobladora de tubo redondo**



Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		<p><b>Entidades:</b></p> <p><b>Tipo:</b></p> <p><b>Valor:</b></p>	<p><b>2 cara(s)</b></p> <p><b>Aplicar fuerza normal</b></p> <p><b>8,164 N</b></p>
Fuerza-2		<p><b>Entidades:</b></p> <p><b>Tipo:</b></p> <p><b>Valor:</b></p>	<p><b>1 cara(s)</b></p> <p><b>Aplicar fuerza normal</b></p> <p><b>434,96 N</b></p>
Fuerza-3		<p><b>Entidades:</b></p> <p><b>Tipo:</b></p> <p><b>Valor:</b></p>	<p><b>1 cara(s)</b></p> <p><b>Aplicar fuerza normal</b></p> <p><b>274,68 N</b></p>

**Anexo I**

*Manual de operaciones.*

Inducciones de seguridad leas el manual antes de utilizar la dobladora de tubo

 Advertencia al momento de operar utilice protección de los ojos, guantes y asegúrese que la maquina este bien posicionada. Para evitar lesiones.

**Información técnica**

**Rango:** de dobles desde 1° a 180°

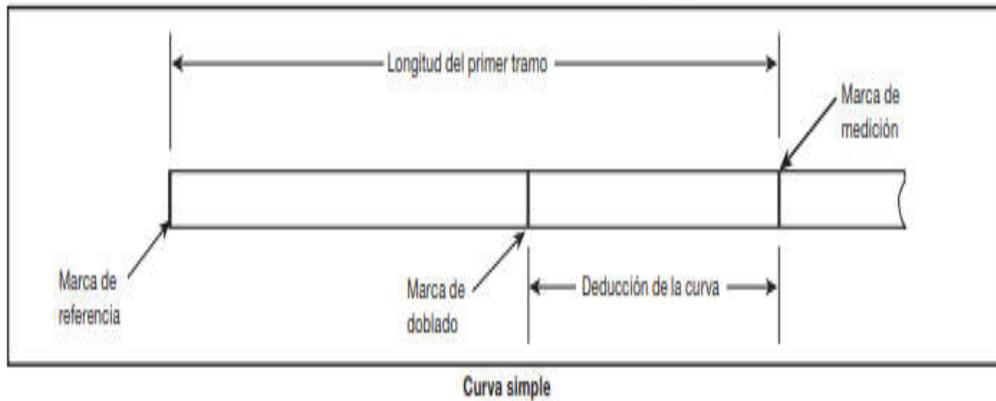
**Dimensiones maquina:** 700mmX500mm altura 900mm

**Peso maquina:** 320Kg

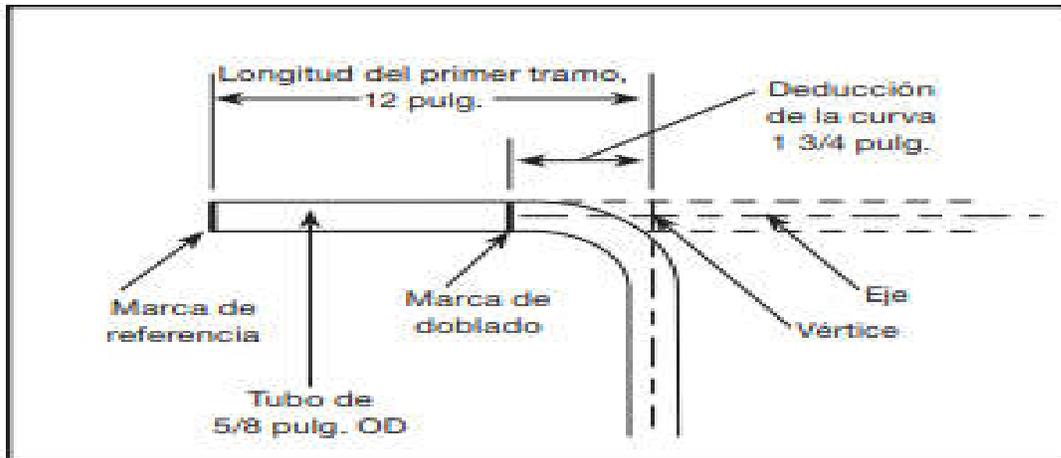
**Alimentación eléctrica:** 380V 50/60Hz.

**Datos de tubo:** la dobladora puede doblar tubos de diámetros de 1 pulgada o 25.4 mm en calibres o espesor de 1.2, 0.9mm con diámetro interior de 23mm y 23.6mm.

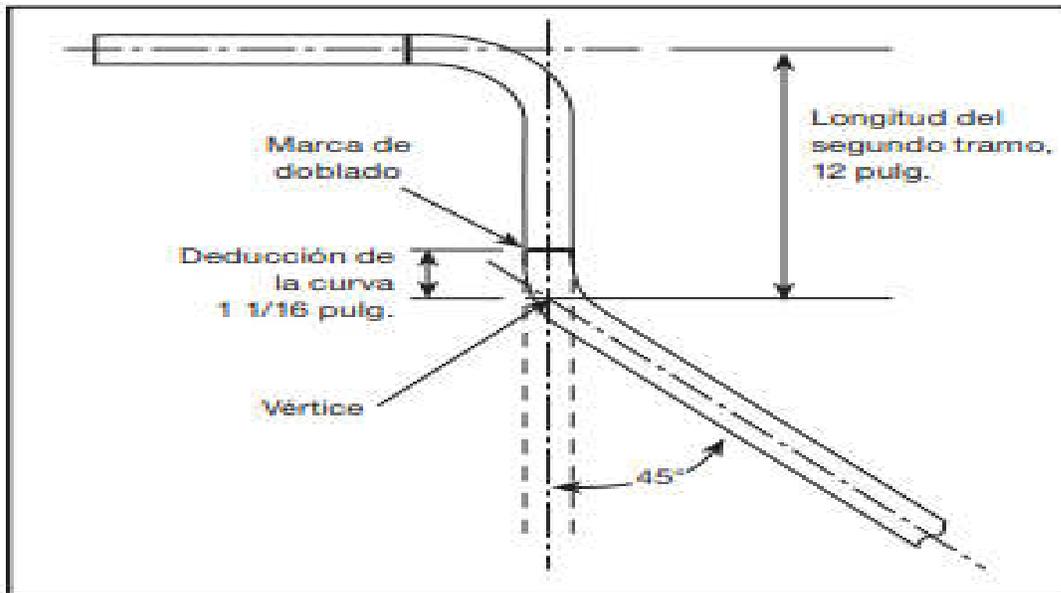
**Trazo en el tubo:**



**Ejemplo:**



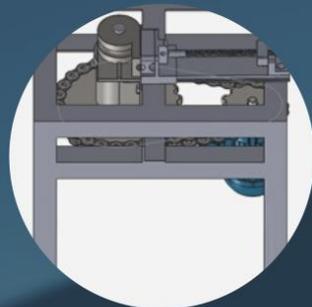
Primera curva (90°)



Segunda curva (45°)

Anexo J

Manual de operación y mantenimiento



# DOBLADORA DE TUBOS

PARA DIAMETRO DE 1" CALIBRE 20 Y 18 INOX

## MANUAL DE USUARIO

Estudie las partes de la dobladora como procesos técnicos del equipo. -tenga en cuenta los principios del doblado, estiramientos del material, diámetro de la curva a emplear, compresión del material, limpieza de mandril y matriz, así como al momento de curvar lubricar.

## PARTES DOBLEZ

- 1- Dado matriz de 1" (pulgada)
- 5- 2- Prensas de sujeción (tubo)
- 3- Mandril
- 4- Graduador de grados
- 5- Control de mando

## INFORMACION ELECTRICA

⚠ Conexión trifásica 220V  
50/60 Hz; corriente máxima  
5 amperios.

## INFORMACION TECNICA

- **Rango de doblado:**  
- 1 a 180° (no dobla el tubo más de 180°)
- **Dimensiones:**  
- Ancho 50 cm, largo 70cm, altura 90cm.
- **Peso:**  
- 90 Kg Aprox.

## ⚠ INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

- Verificar que los accesorios de doblado estén en la posición correcta, tales como el dado matriz.
- Chequear el apriete de todas las partes y la ausencia de objetos sueltos que puedan afectar el correcto funcionamiento de la máquina.
- Poner el suich del guardamotor en la posición de encendido "ON".
- Rociar el dado matriz y mandril con lubricante en spray.
- Insertar la tubería a doblar entre el dado y sobre el mandril, posteriormente aprete la prensa de sujeción y realice el doblado.
- Al terminar el doblado se debe retirar la tubería del dado formador.

## MANTENIMIENTO

- Revise antes de cada uso el estado general de la herramienta dobladora, compruebe si hay roturas piezas sueltas, rotura de cables de mando o cualquier otra condición que pueda afectar en funcionamiento correcto de la máquina.
- Revise semanalmente el estado del teflón del tensor de la cadena.
- Anualmente revise el estado de la cadena
- Antes de usar la máquina, lubrique tornillos de sujeción, prensa y mandril.