



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Diseño y fabricación de dispositivos para habilitación de
dobladora de tubo en LIME II.**

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Eléctrico

Presenta:

Carlos Isidro Islas Pérez

Asesor:

Ing. Cesar Augusto Morales Mendoza

Cuautitlán Izcalli, estado de México, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES - CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORRALAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
Exámenes Profesionales Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Diseño y fabricación de dispositivos para habilitación de dobladora de tubo en LIME II

Que presenta el pasante: **CARLOS ISIDRO ISLAS PÉREZ**

Con número de cuenta: **40801648-9** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 16 de abril de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en I. Humberto Neri Mondragón	
VOCAL	Ing. Rogelio Xelhuantzi Parada	
SECRETARIO	Ing. Cesar Augusto Morales Mendoza	
1er. SUPLENTE	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
2do. SUPLENTE	Ing. Melisa Carmen Vargas Oliva	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Dedicatorias

Esta tesis es dedicada en primer lugar a mis padres: Isidro Islas y Leticia Pérez. Gracias por el apoyo y amor incondicional que siempre me brindan, sin ustedes nada de esto sería posible. Este logro no solo es mío, es de ustedes y para ustedes. Gracias por inculcarme los valores que me hacen ser la persona que soy ahora. Gracias por creer en mí.

A mis hermanos Sandy y Lalo por enseñarme que el amor de hermanos es magnífico e inigualable y a pesar de que son más chicos darme lecciones de superación y responsabilidad. Gracias por todo hermanitos.

A mis primos: Oscar, Jessy y Lupita. Por mantener la fe en mí e impulsarme en seguir adelante.

A los que elegí como hermanos: Aldo, Chabe, Ivonne, Memo, Gabo, Tony y Josh. Por hacerme poner los pies en la tierra y estar para mí cuando más los he necesitado, por ser incondicionales.

A mis amigos que me acompañaron durante este camino universitario: Memo, Giovanni, Chucho, Daniel, Miguel, Ricardo, Panchito y Lalo. Gracias por todas las aventuras y risas.

A mis profesores que se convirtieron en mis amigos: Ing. Cesar, M. en I. Neri, M. en I. Jaime y señora Irma. Por las enseñanzas, el apoyo, su amistad, por los buenos momentos y por alentarme a seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres: Chiro y Lety. Por ser los motores y pilares de mis sueños.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por una formación académica de calidad.

Mi eterno agradecimiento al Ing. Cesar Augusto Morales por dirigir este trabajo de la mejor forma posible. Gracias por el tiempo, la dedicación, el apoyo y por la gran amistad que me brindó a lo largo de la realización de este proyecto.

Gracias a todas las personas que conforman el Laboratorio de manufactura LIME II por permitirme hacer uso de sus instalaciones para la elaboración de este proyecto, en especial a la señora Irma por las facilidades brindadas y su amistad.

Gracias al M. en I. Neri Mondragón, M. en I. Jaime Fuentes, Ing. Eusebio Reyes y a la Ing. Melisa Vargas por los efectivos consejos para llevar a cabo un trabajo de calidad.

Agradezco a los docentes que con su sabiduría, experiencia y conocimiento me motivaron a desarrollarme como persona y como profesional.

Gracias a Dios por la vida y por poner en mi camino y rodearme de personas maravillosas.

“Tanto si piensas que puedes, como si piensas que no puedes, estas en lo cierto”

Henry Ford

INDICE.

OBJETIVOS.....	III
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES.....	2
1.1 MAQUINAS DOBLADORAS DE TUBO.....	2
1.1.1 Componentes.....	2
1.1.2 TIPOS DE DOBLADORAS DE TUBO.....	4

CAPÍTULO 2.

PROCESOS DE MANUFACTURA.....	8
2.1 CLASIFICACIÓN DE PROCESOS DE MANUFACTURA.....	8
2.1.1 Procesos de fundición o colada.....	8
2.1.2 Procesos de conformado de metales.....	8
2.1.3 Procesos con arranque de viruta.....	8
2.1.4 Procesos de conformado de polímeros.....	8
2.1.5 Procesos para el acabado de superficies.....	9
2.1.6 Procesos de unión.....	9
2.1.7 Procesos para la modificación de propiedades de los materiales.....	9
2.2 PROCESOS DE CONFORMADO.....	9
2.2.1 Conformado en caliente.....	9
2.2.2 Conformado en frío.....	11
2.2.3 Clasificación de los procesos de conformado.....	12
2.2.3.1 Rolado.....	12
2.2.3.2 Forja.....	14
2.2.3.3 Extrusión.....	15
2.2.3.4 Operaciones de corte.....	17
2.2.3.5 Doblado.....	19

2.2.3.6 Embutido.....	22
-----------------------	----

CAPÍTULO 3.

DOBLEZ DE TUBERÍA REDONDA.....	24
3.1 TUBOS CON COSTURA Y SIN COSTURA.	24
3.2 NATURALEZA DEL DOBLEZ DE TUBERÍA REDONDA.....	25

CAPÍTULO 4.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA DOBLADORA DE TUBO. 29	
4.1 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA DOBLAR TUBO CON DADOS DE 29MM.	30
4.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA DOBLAR TUBO CON DADOS DE 13 MM.	47
4.3 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA DOBLAR TUBO CON DADOS DE 19 MM.	63

CAPÍTULO 5.

PRUEBAS FINALES DE DOBLEZ Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
5.1 PRUEBAS FINALES CON TUBERÍA DE 1/2".....	69
5.2 PRUEBAS FINALES CON TUBERÍA DE 3/4".....	71
5.3 FABRICACIÓN DE ACCESORIOS POR MEDIO DEL DOBLEZ DE TUBERÍA.	73
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS.....	84

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

- Habilitar la dobladora de tubo del laboratorio de Manufactura LIME II.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Diseño de piezas para optimizar la manufactura de estas y el correcto funcionamiento de la dobladora.
- Fabricación de las piezas de la dobladora que sean requeridas.
- Modificar los componentes para darle un óptimo funcionamiento a la dobladora.

INTRODUCCIÓN.

La importancia de las prácticas en la formación académica de los alumnos es de vital importancia, ya que en el campo laboral no solo basta con tener los conocimientos teóricos. El tener una enseñanza teórico-práctica ayuda a reforzar lo aprendido en el aula y aporta experiencia que te puede ayudar a dar solución a dificultades que se presentan en el campo laboral.

Un alumno egresado de nuestra universidad debe tener la capacidad de resolver problemas, tomar decisiones y lo más importante siempre tener en mente la seguridad de las personas en el área de trabajo, todo proceso por muy sencillo que parezca requiere un conocimiento y capacitación integral para obtener de manera óptima un producto final. Por ello, al habilitarse la dobladora de tubos en el LIME II Manufactura, se reforzarán los conocimientos adquiridos en las asignaturas de: Tecnología de materiales, procesos de conformado de materiales, procesos de corte de materiales y manufactura asistida por computadora, ya que se analizarán los materiales a utilizar y sus propiedades. Se utilizará un software de diseño 3D (SolidWorks), así como la utilización de máquinas herramienta para la manufactura del diseño.

Este trabajo de tesis está organizado de la siguiente manera: En los primeros 3 capítulos se abarca un marco teórico. En el capítulo 1 se estudian los antecedentes relacionados a las maquinas dobladoras de tubos, sus componentes y los tipos que existen actualmente. En el capítulo 2 se explica que son los procesos de manufactura y su clasificación ya que para el proceso de habilitación de la dobladora de tubos se llevan a cabo varios procesos mencionados en este capítulo. El capítulo 3 explica en que consiste el doblado de tubería redonda y sus tipos ya que es la materia principal con la se va trabajar. En el capítulo 4 se muestra la metodología de la habilitación de la dobladora y todos los procesos realizados para cumplir el objetivo. En el capítulo 5 se muestran los resultados, las pruebas finales y un análisis de los resultados obtenidos. En las conclusiones se mencionan un par de recomendaciones que hay que tener en cuenta para manipular la máquina y finalmente se anexa una tabla de especificaciones de tubería industrial recomendada para manipular en esta máquina dobladora de tubos habilitada.

CAPÍTULO 1.

ANTECEDENTES.

1.1 Maquinas dobladoras de tubo.

El doblado de tubo es un proceso de conformado en frío que produce una curva permanente de acuerdo con la forma de un dado o de una matriz, al tiempo que conserva la forma de la sección transversal del tubo, sea esta redonda, cuadrada o rectangular.^[1]

El proceso no es tan sencillo como el plegado o doblado de láminas y requiere mayores cuidados que este, ya que la tubería es un elemento hueco y depende el grosor y el material que puede deformarse con facilidad. Sin embargo, precisamente la característica de ser hueco los diferencia de piezas macizas, que son más costosas, necesitan maquinaria más compleja y mayor esfuerzo para ser deformadas. Con los dispositivos adecuados para evitar la deformación y el cambio de las propiedades mecánicas, las máquinas dobladoras de tubo pueden completar la operación en pocos minutos con un excelente acabado.

En la actualidad se dispone de máquinas dobladoras de tubo que varían desde tamaños pequeños de banco, operados manualmente o a pedal, semiautomáticas o hasta sofisticada maquinaria industrial completamente automatizada que cuenta con control CNC.

Aunque la tecnología de doblado de tubos ha evolucionado de manera significativa a través de los años, hoy en día el proceso todavía se reduce a factores simples como el material, el grosor de la pared del tubo y la herramienta a utilizar.^[2]

1.1.1 Componentes.

Sin importar la complejidad de cualquier máquina dobladora de tubos, todas cuentan con componentes principales de funcionamiento, como son la matriz o dado de curvado, el opresor de tubo o matriz de presión y matriz o dado de anclaje. En la siguiente figura podemos observar un ejemplo de los principales componentes de una dobladora de tubos.

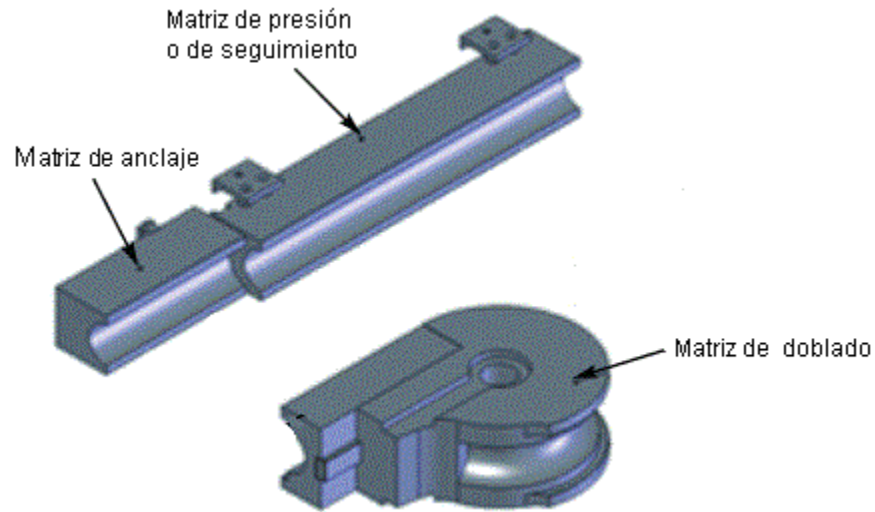


Figura 1.1 Ejemplo de principales elementos de una dobladora de tubos. [3]

Matriz de doblado: esta pieza es el elemento principal del proceso de doblado de tubo ya que la tubería se amolda a su forma y a un determinado radio de curvatura. Está diseñada con una ranura central cuya profundidad debe de ser de la mitad del diámetro de tubo a doblar, esta puede ser redonda, cuadrada o rectangular, dependiendo el tipo de tubería que se requiere curvar. En su diseño lleva una parte recta para sujetar el tubo con ayuda del opresor o matriz de presión, y otra parte curvada la cual va dar forma al doblado requerido de la tubería.

Matriz de presión: tiene la finalidad de ser una herramienta de contención del tubo, proporcionando una presión constante a lo largo de todo el proceso de doblado de tubos. Dependiendo del tipo de maquina dobladora de tubos, este componente puede variar en su diseño y funcionamiento.

Matriz de anclaje: como su nombre lo indica, este componente tiene la función de anclar el tubo ejerciendo una presión contraria a la fuerza ejercida para doblar el tubo. De igual manera como la matriz de presión su diseño y funcionamiento va variar dependiendo del tipo de la maquina dobladora de tubos. [3]

1.1.2 Tipos de dobladoras de tubo.

Máquina dobladora de tubos por sistema de tres rodillos.

Utilizada para producir piezas con grandes radios de curvatura. En este método la matriz conductora y las dos matrices opuestas estacionarias giran formando el curvado, es muy similar a la máquina de rolado de lámina por rodillos. Útil para la construcción de buques, aparatos y tuberías. [2]



Figura 1.2 Máquina dobladora de tubos con un sistema de tres rodillos. [2]

Máquina dobladora de tubos por presión de prensa.

En esta **dobladora de tubos** la matriz punzón se acciona generalmente mediante fuerza hidráulica, muy rara vez se puede llegar a encontrar de accionamiento manual. La matriz tiene el radio de doblado y con su movimiento hacia el tubo empuja este hacia abajo contra dos matrices opuestas con la forma del tubo, estas pivotan hacia arriba, forzando al doblado del tubo alrededor de la matriz punzón. [2]

Este método es mayormente utilizado en tubos de pared gruesa que requieran radios de gran curvatura. Sus principales aplicaciones abarcan instalaciones de obras, oleoductos, calderas, gasoductos, destilerías y la industria naval.



Figura 1.3 Máquina dobladora de tubos por presión de prensa. [2]

Máquinas dobladora de tubos por compresión.

Esta **dobladora de tubos** funciona mediante un método que se efectúa con una matriz de presión y una matriz de doblado fija, entre estas dos matrices o dados se sujeta el tubo. La matriz de presión gira alrededor de la matriz de doblado flexionando el tubo al radio de esta para tomar la forma de la matriz de doblado.

En este tipo de máquinas, la matriz de presión también puede ser llamada matriz de seguimiento que aparte de presionar al tubo contra la matriz de doblado, también tiene la función de evitar la aparición de arrugas en el tubo durante el proceso de doblado lo cual ayuda mucho cuando la resistencia del tubo a la compresión es muy alta.

Este método es aplicado comúnmente en la industria de refrigeración, autopartes en general e inyección de diésel. [2]



Figura 1.4 Máquina dobladora de tubos por compresión. [2]

Máquinas dobladora de tubo sistema rotativo por arrastre.

Es el método de doblado más preciso y versátil. El tubo se sujeta entre la *matriz de doblado* y la *matriz de anclaje o sujeción*. La rotación de ambas herramientas alrededor del eje de doblado flexiona el tubo al radio de la matriz de doblado. La *matriz de presión* cumple el propósito de recibir la tensión radial que se genera durante el proceso de formado y sostiene el extremo del tubo recto desde el exterior.

Con este tipo de máquinas dobladoras de tubo se puede obtener una pieza de alta calidad incluso con tubos de pared delgada y radios de curvatura muy pequeños. Las aplicaciones de las *máquinas de doblado rotativo* comprenden radios pequeños y baja producción, codos de cobre, intercambiadores de calor, serpentina de calefones, horquillas de cobre, circuitos de radiadores, equipos de refrigeración, autopartes, muebles y decoración. [2]

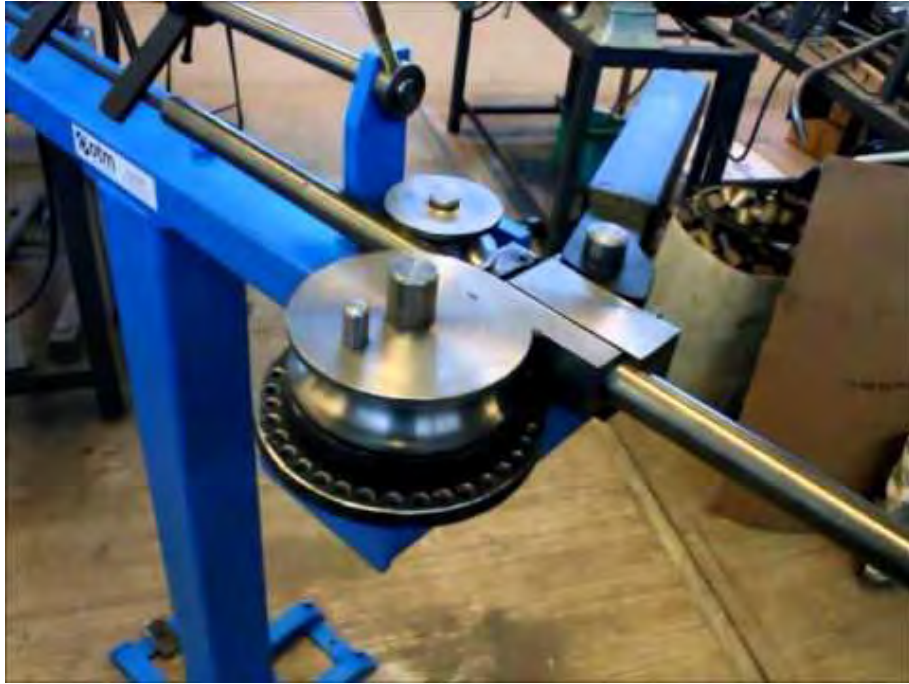


Figura 1.5 Máquina dobladora de tubo sistema rotativo por arrastre. [2]

CAPITULO 2.

PROCESOS DE MANUFACTURA.

La palabra manufactura proviene del latín *manus* que significa a mano y de *factura* que significa hechura o fabricación, podría traducirse literalmente como hecho a mano, sin embargo con el avance tecnológico podemos definir el proceso manufactura como la fabricación de piezas requeridas a mano con la ayuda de las máquinas. Aunque desde el punto de vista de la ingeniería la manufactura es el mecanismo para la transformación de materiales en objetos útiles para la sociedad y la vida cotidiana partiendo siempre de un diseño. ^[1]

2.1 Clasificación de procesos de manufactura.

Diversos autores clasifican los procesos de manufactura de diferentes maneras debido a la gran variedad de métodos existentes, tomando en base las modificaciones geométricas y físicas, se pueden agrupar de la siguiente manera:

2.1.1 Procesos de fundición o colada. Se produce mediante la fundición de material y se solidifica en un molde con la forma requerida, se aplica fundamentalmente para metales, vidrio y plásticos.

2.1.2 Procesos de conformado de metales. Se aplica deformando plásticamente el material, usualmente empleado en metales y puede realizarse en caliente o frío. Por ejemplo: doblado, cizallado, troquelado, embutido, laminado, forjado y extrusión.

2.1.3 Procesos con arranque de viruta. En este proceso se genera una geometría requerida mediante la eliminación de material utilizando una herramienta de corte que hace una interferencia con la pieza y así arrancando material. En estos procesos podemos mencionar los siguientes: torneado, rectificado, fresado, cepillado, esmerilado, etc.

2.1.4 Procesos de conformado de polímeros. Las características que poseen los plásticos y los hules han llevado al desarrollo de diferentes métodos de fabricación como lo son: el termoformado, inyección, soplado, extrusión,

2.1.5 Procesos para el acabado de superficies. Podemos considerar a los recubrimientos electrolíticos, las pinturas, metalizados por inmersión, recubrimientos por difusión y convección, etc.

2.1.6 Procesos de unión. Incluyendo métodos de unión y ensamble como soldadura, con adhesivos, remaches, etc.

2.1.7 Procesos para la modificación de propiedades de los materiales. Comprendido por tratamientos térmicos y termoquímicos, como el temple, cementado, recocido, nitrurado, carburizado, etc. [4]

2.2 Procesos de conformado.

Entrando a los procesos de conformado, estos comprenden un amplio grupo de procesos necesarios para la deformación plástica y así cambiar la forma de las piezas.

En los procesos de conformado, se utilizan herramientas para ejercer esfuerzos sobre el material o pieza de trabajo, obligándola a tomar una geometría requerida.

Los materiales deben ser conformados con un esfuerzo superior a su límite elástico, al sobrepasar el límite de fluencia su deformación será permanente. [5]

2.2.1 Conformado en caliente.

Es la deformación plástica de material a una temperatura mayor a su punto de cristalización. Tiene la gran ventaja de una deformación casi ilimitada ya que el material tiene una baja resistencia a la cedencia y una alta ductilidad, así obteniendo beneficios como mayores modificaciones a la pieza a trabajar con menores esfuerzos, se perfecciona la estructura granular, ideal para materiales que se fracturan al trabajarlos en frío, pero se obtienen algunas desventajas: la precisión disminuye, las herramientas están sometidas a elevados desgastes y por consiguiente mayor mantenimiento, se requieren herramientas que resistan altas temperaturas y una rápida oxidación,

La resistencia a la cedencia y la ductilidad son afectadas directamente por la temperatura, la ductilidad incrementa y la resistencia a la cedencia baja cuando se aumenta la temperatura de trabajo. [6]



Figura 2.1 Relación de fluencia y ductilidad con respecto a la temperatura. [6]

Las propiedades de un metal son diferentes cuando está arriba y cuando está debajo de su temperatura de recristalización. La resistencia de un metal disminuye conforme aumenta la temperatura y sus granos pueden distorsionarse con más facilidad. Si un cristal dúctil se distorsiona por trabajo, no se altera en forma visible, pero la estructura de su malla se fragmenta. Los fragmentos forman cristales nuevos y más pequeños. Si la temperatura baja con rapidez resulta una estructura fina. Sin embargo, si el metal se mantiene arriba de la temperatura de recristalización y abajo del punto de fusión, sus cristales crecen cada vez más. Los cristales pequeños tienden a combinarse y los grandes absorben a los pequeños. Mientras más alta es la temperatura mayor es el incremento. Mientras más se prolonga el tiempo, más grandes llegarán a ser los granos. Estas condiciones ayudan a explicar las siguientes ventajas de comprimir o trabajar en caliente los metales:

1. El verdadero trabajo en caliente no cambia la dureza o ductilidad del metal. Los granos distorsionados y deformados durante el proceso pronto cambian en nuevos granos sin deformación.
2. El metal se hace más tenaz debido a que los granos se deforman en cristales más pequeños y numerosos. También se hace más tenaz ya que sus poros se cierran y segregan las impurezas. La escoria y otras inclusiones se comprimen en fibras con orientación definida.
3. Se requiere menos fuerza, el proceso es más rápido y pueden utilizarse maquinas más pequeñas para una cantidad dada de trabajo en caliente en comparación con el trabajo en frío debido a que el metal es más débil.
4. El metal puede empujarse a formas extremas cuando está caliente sin roturas ni desgastes debido a que los cristales son más plegables y se forman continuamente.

5. El trabajo en caliente se hace muy por arriba de la temperatura crítica para obtener la mayoría de los beneficios en el proceso, pero no a una temperatura suficientemente alta para que se promueva el engrosamiento extremo de los granos. En la figura 2.2 se muestra los márgenes de temperatura de trabajo para los aceros al carbón.^[7]

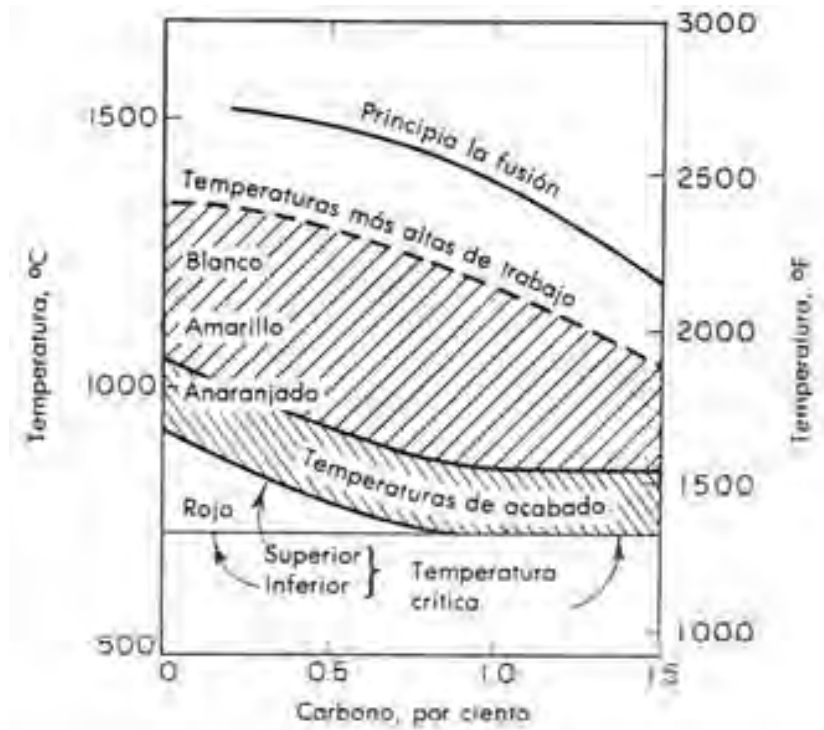


Figura 2.2 Márgenes de temperaturas de rolado y forjado para aceros al carbono.^[7]

2.2.2 Conformado en frío.

Es un trabajo a temperatura ambiente o menor. Este proceso ocurre al aplicar un esfuerzo mayor al de su punto de cedencia original, hasta llegar a la deformación plástica.

Con este proceso se obtiene una mayor precisión, menores tolerancias, mejores acabados superficiales, las partes obtienen mayor dureza, pero se requiere de un esfuerzo mayor al de trabajo en caliente, aumenta la resistencia a la tensión y limita la operación de formado por partes.^[6]

2.2.3 Clasificación de los procesos de conformado



Figura 2.3 Clasificación de los procesos de conformado.

Las operaciones de deformación volumétrica algunos autores las manejan como procesos primarios del trabajo de metales.

2.2.3.1 Rolado.

Cuando un metal se rola, pasa y se comprime entre dos rodillos que giran en la forma que indica la siguiente figura 2.4. Los cristales se alargan en la dirección del rolado y el material sale a una velocidad más rápida que la de entrada. En el rolado en caliente los cristales comienzan a reformarse después de que abandonan la zona de esfuerzo, pero en el rolado en frío mantienen en forma sustancial la forma que recibieron por la acción de los rodillos. ^[8]

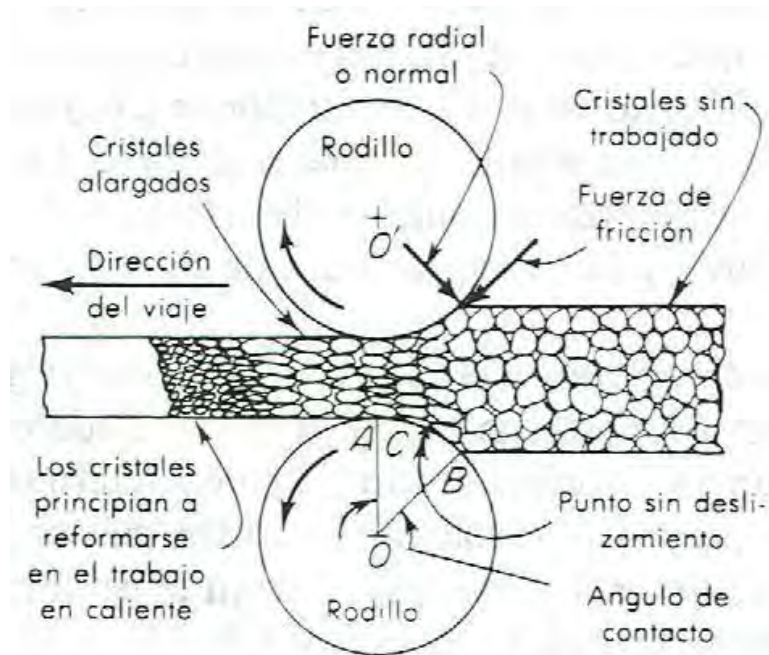


Figura 2.4 Esquema que muestra lo que sucede cuando se rola un metal. [8]

Los rodillos hacen contacto con el metal en una longitud de contacto por el arco AB de la figura anterior. En algún punto de contacto las superficies del material y el rodillo se mueven a la misma velocidad, este es el punto C sin deslizamiento, desde C a la salida en A el material está siendo extruido y se mueve a mayor velocidad que la superficie del rodillo. En esta zona, la fricción entre la pieza de trabajo y el rodillo se opone al avance y estorba la reducción del metal. Las fuerzas normal y de fricción de un punto están indicadas en la figura 2.4. El metal se mueve con más lentitud que los rodillos entre los puntos C y B, y la fuerza de fricción resultante sobre el arco CB comprime el metal entre los rodillos. La posición del punto C sin deslizamiento en el arco AB depende de la cantidad de reducción, los diámetros de los rodillos y el coeficiente de fricción. El punto C tiende a moverse hacia A conforme la cantidad de reducción y el ángulo de contacto aumentan. Cuando el ángulo de contacto (también llamado ángulo de apriete) excede el ángulo de fricción, los rodillos no pueden arrastrar una pieza fresca de material en forma espontánea dentro del espacio entre ellos. Cuando el ángulo de contacto es más del doble del ángulo de fricción entre el rodillo y el trabajo, el punto C coincide con el punto A y el metal no puede arrastrarse a través por los rodillos aun si se coloca entre ellos. Esto se debe a que la componente horizontal de la presión normal de los rodillos contra el metal iguala y nulifica la componente horizontal de fricción que tiende a arrastrar el metal a lo largo. [8]

Conforme el metal se comprime entre los rodillos, se alarga debido a que es incompresible. Para realizar esto, los rodillos tienen que aplicar presión tanto normal de apriete como friccional de arrastre. Por lo general, la presión normal de los rodillos en el trabajo es de una a varias veces la cantidad del esfuerzo de cedencia del metal. La fuerza friccional entre el rodillo y el trabajo en la dirección de impulsión se aproxima a la fuerza normal multiplicada por el coeficiente de fricción. Esta fuerza de fricción multiplicada por la velocidad superficial de los rodillos determina la potencia.

Las fuerzas y la potencia aumentan con la cantidad de reducción en el espesor de una pieza. Así, la resistencia y la capacidad de potencia del equipo y la facilidad de trabajo del metal determinan que tanto puede reducirse una pieza de trabajo en un paso entre rodillos. [8]

2.2.3.2 Forja.

La forja es el forjado del metal, principalmente en caliente, por aplicaciones individuales e intermitentes de presión en lugar de aplicarle presión continua como en el rolado. Los productos generalmente son discontinuos también, tratados y entregados como piezas unitarias más bien que como un flujo de masa. El proceso de forja puede trabajar el metal comprimiendo su sección transversal y haciéndolo más largo, o apretando en sentido longitudinal y aumentando su sección transversal. O apretándolo en la parte interna y haciendo que se conforme a la forma de una cavidad.

La forja puede hacerse en dados cerrados o abiertos. En forma nominal, las forjas en dado abierto se comprimen entre dos superficies planas o en práctica algunos dados tienen forma de V, semiredondos o semiovals. Las forjas en dado cerrado se forman en cavidades de dado. Todas las forjas requieren habilidad, pero se requiere más con la forja en dados abiertos que cerrados. Con los dados cerrados se obtiene una producción más rápida y con tolerancias más estrechas. Los dados abiertos son, por supuesto, más económicos que los dados cerrados.

El alto orden de habilidad para la forja es cada vez menos necesario. Existen diversos sistemas en los cuales el martillo y un manipulador automático están controlados por un programa de computadora que ejecuta una operación. [9]



Figura 2.5 Conjunto de dados de forja cerrados con ilustraciones de los pasos sucesivos para forjar una biela. [9]

2.2.3.3 Extrusión.

Cuando el metal se somete a extrusión se comprime arriba de su límite elástico en una cámara y se le hace fluir a través y tomar la forma de una abertura. Una analogía cotidiana en la extracción de pasta de dientes de tubo que se comprime.

El metal es extruido en un número de formas básicas. El metal se comprime por un ariete y puede ser empujado hacia delante y hacia atrás. El producto puede ser sólido o hueco y el proceso puede hacerse en caliente o frío.

Los problemas y resultados de la extrusión en caliente o frío son algo diferentes:

La extrusión en caliente hacia delante de perfiles sólidos o huecos posibilita que el metal pueda soportarse con facilidad, manipularse y liberarse del equipo. Cuando una pieza se somete a extrusión hacia delante, se corta y el extremo a tope se extrae de la cámara.

La preservación del equipo sujeto a altas temperaturas es el principal problema de la extrusión en caliente. Las presiones varían desde muy bajas, como 35 MPa para el magnesio (Mg), hasta más de 700 MPa para el acero. Es necesaria la lubricación y protección de la cámara, ariete y dado. El trapeado de estas partes con una mezcla de aceite y grafito puede ser suficiente para temperaturas bajas. El vidrio, que se vuelve un lubricante fundido, ha hecho posible la extrusión de acero a altas temperaturas. La mayoría de la extrusión en caliente se hace en prensas hidráulicas horizontales construidas especialmente para el propósito.

La mayoría de las extrusiones en caliente son piezas largas de sección transversal uniforme, pero también pueden producirse piezas con conicidad y escalones. Los ejemplos de productos comerciales hechos por extrusión son cintas de aluminio y latón para guarniciones, molduras y perfiles estructurales de aluminio y acero y varillas.^[10]

Por su parte la extrusión en frío comúnmente se hace a la temperatura bajo techo, se hace con rapidez y genera calor que eleva la temperatura varios cientos de grados y necesita menos fuerza que si se hace con lentitud.

Es obligatoria la lubricación adecuada para el flujo a presiones altas de la extrusión en frío. Los principales lubricantes son aceites, ceras y grasas. Para extruir acero, es necesaria una cubierta de fosfato de zinc (Zn) o de cobre (Cu) para ayudar a mantener el lubricante en la superficie.

El trabajo de extrusión en frío endurece los metales, esto puede ser ventajoso si el producto puede usarse en la condición de endurecido por el trabajo con ductilidad reducida. Algunos ejemplos de extrusión en frío son latas, envoltorios de extinguidores de fuego, conexiones y sujetadores de riostras en aviación y pistones de motores de automóviles.

La extrusión en frío compite con el colado y la forja en algunas partes. Las extrusiones por lo general son más ligeras y resistentes que los colados. No necesitan tener conicidad o inclinación para retiro por rebaba que recortar y no son porosas o frágiles como los colados, las tolerancias son más estrechas.^[11]

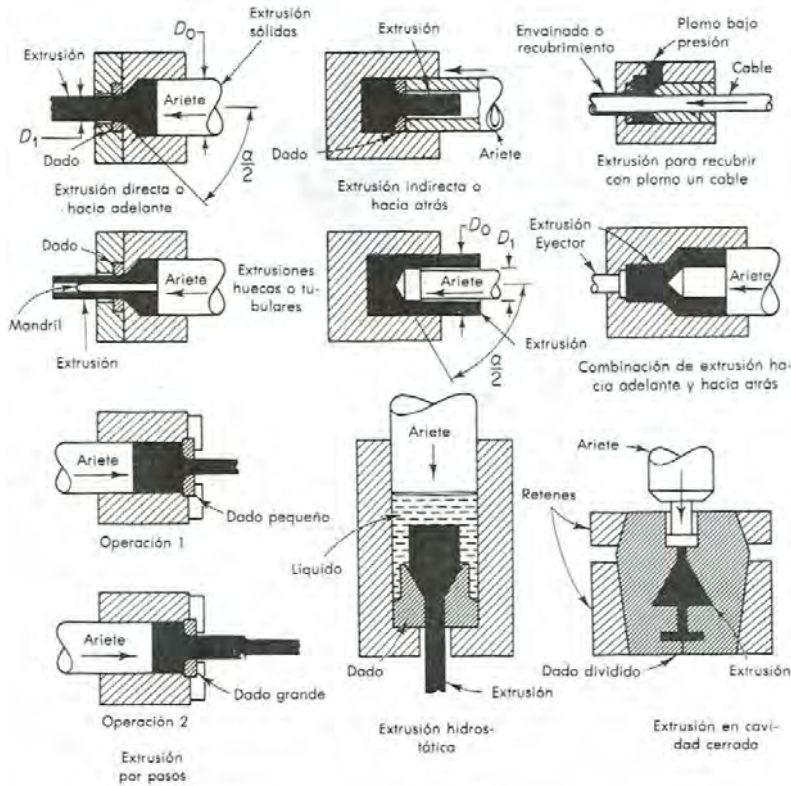


Figura 2.5 Formas comunes de extruir metal. [10]

2.2.3.4 Operaciones de corte.

Las operaciones que cortan el metal en lámina, material en barras y otros perfiles, tienen diversos propósitos. Las operaciones comunes se muestran en la siguiente figura. [11]

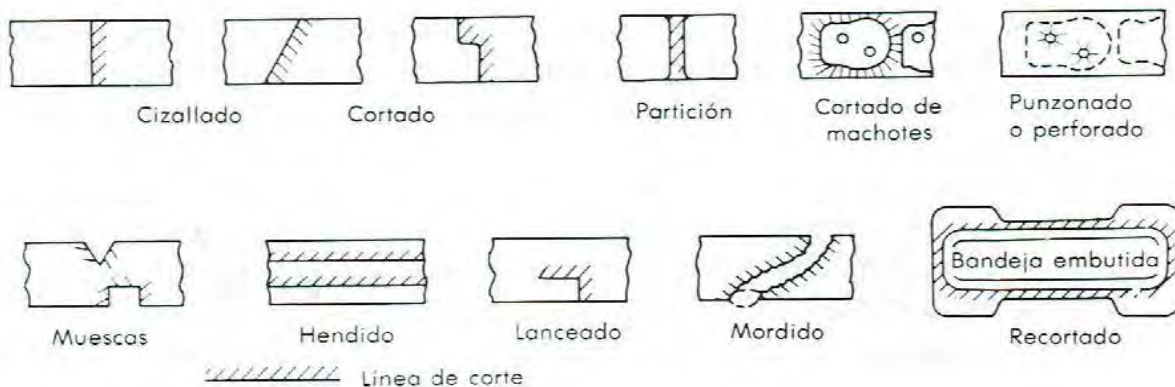


Figura 2.6 Patrones típicos de operaciones de corte de lámina de metal. [11]

El formado es un nombre genérico para la mayoría de los cortes en lámina, pero en un sentido específico indica un corte en una línea recta completamente a través de una cinta, hoja o barra. El corte significa separar una pieza de una cinta con un corte a lo largo de una sola línea. La partición significa que se quita desperdicio entre dos piezas para separarlas.

El cortado de machotes separa una pieza completa de la lámina. Se deja suficiente material de desperdicio alrededor de la abertura para asegurar que el punzón tiene metal que cortar a lo largo de todo el filo. Si el propósito es cortar un agujero el material removido se desperdicia, la operación se llama punzonado o calado. El ranurado se refiere al corte de agujeros alargados. El corte de muescas elimina material de un lado de una lámina o cinta.

El corte por mordisqueo es una operación para cortar cualquier forma de metal en lámina sin herramientas especiales. Se hace en una nibladadora, la cual es una máquina que tiene un punzón pequeño redondo o triangular que oscila con rapidez en un dado compañero. La hoja de metal se guía de modo que se panzona una serie de agujeros superpuestos a lo largo de la trayectoria deseada. Esta es una operación lenta pero económica cuando se necesitan solo unas pocas piezas de cada clase, ya que se ahorra el alto costo de dados especiales. [11]

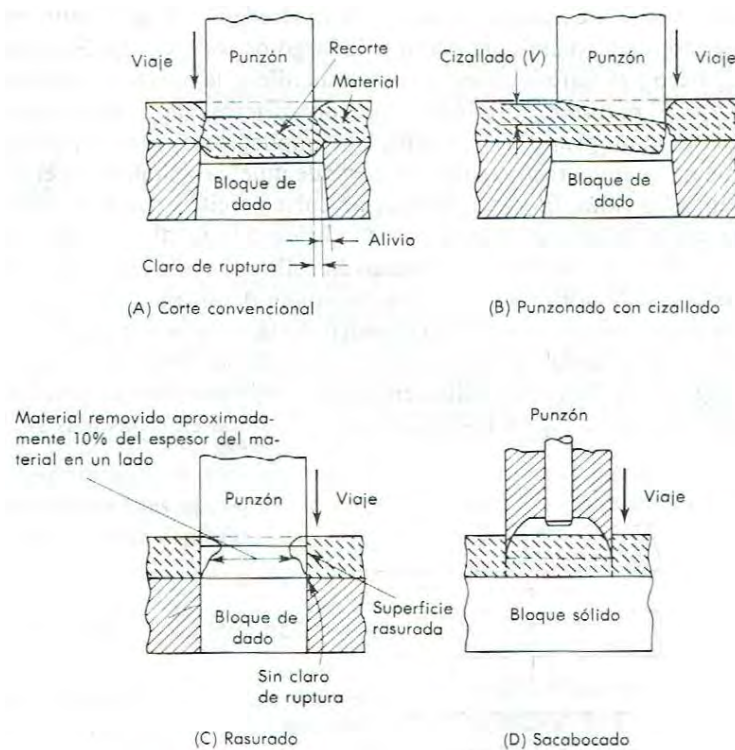


Figura 2.7 Métodos de corte en dado. [11]

Para el cizallado de metal, la lámina se corta por cizallado entre un punzón y un bloque o matriz de dado. El punzón tiene la misma forma en todo su perímetro que la abertura en el bloque o matriz de dado, excepto que es más pequeño en cada lado por una cantidad llamada claro de ruptura. Conforme el punzón entra en el material lo empuja hacia abajo dentro de la abertura. Los esfuerzos en el metal se vuelven más altos en los filos del punzón y el dado, aquí es donde el material comienza a grietarse. Si el claro de ruptura es correcto, las grietas se encuentran unas con otras y la ruptura se completa. Si el claro es demasiado grande o demasiado pequeño las grietas no se encuentran, debe realizarse trabajo adicional para cortar el metal y resulta una rotura dispareja. [11]

2.2.3.5 Doblado.

Doblado en punzón y dado. Las varillas, alambre, tubos y perfiles estructurales lo mismo que lámina de metal se doblan en muchas formas de dados.

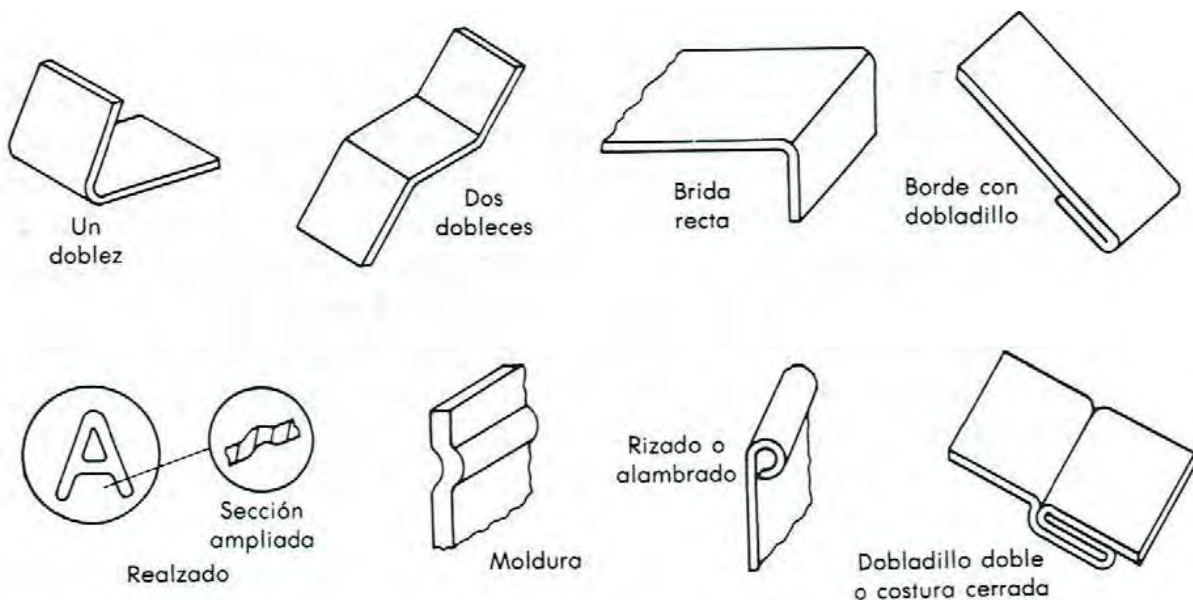


Figura 2.8 Ejemplos de clases de dobleces en lámina de metal. [12]

Todo doblado de metal se caracteriza por la condición indicada en la siguiente figura 2.9. [12]

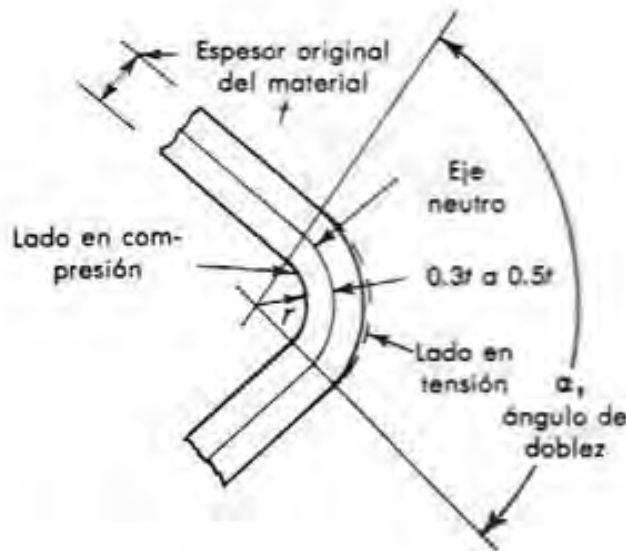


Figura 2.9 Naturaleza de un doblado en metal. [12]

Con el metal sujeto a un esfuerzo más allá del límite elástico en tensión en el exterior y en compresión en el interior del doblado. El estiramiento del metal en la superficie exterior hace más delgado al metal.

El estiramiento de un doblado causa que el eje neutro a lo largo del cual el material no se deforma se mueva a una distancia de $0.3t$ a $0.5t$ del interior del doblado en la mayoría de los casos. Con frecuencia se utiliza para los cálculos una cifra promedio de $0.4t$. Si el radio interior del doblado es r , la longitud original del material en el doblado se estima que es:

$$L = 2 \times \pi (r + 0.4t) \times \left(\frac{\alpha}{360}\right) \quad (2.1)$$

Dónde: α es el ángulo del doblado en grados y t es el espesor original del material.

El metal que se ha sometido a esfuerzos más allá de su límite elástico está propenso a cierta cantidad de recuperación elástica. Si se hace un doblado a cierto ángulo, puede esperarse que tenga recuperación elástica a un ángulo ligeramente más pequeño cuando se libera. Esta recuperación elástica es más grande para radios de doblado más pequeños, material más grueso, ángulos de doblado más grandes y materiales endurecidos. Los valores promedio son de 1° a 2° para aceros suaves de

bajo carbono y de 3° a 4° para aceros de medio carbono. El remedio común para la recuperación elástica es doblar más allá del ángulo deseado.

Deben observarse ciertas limitaciones para evitar romper el metal cuando se dobla. En general, el metal suave puede doblarse 180° con un radio igual al espesor del material. El radio debe ser más grande y los ángulos menores para revenido duro. [12]

Doblado de tubos y perfiles estructurales. Los tubos, tuberías y formas estructurales de todas clases se doblan por métodos que evitan que se colapsen o distorsionen. Los tubos y los perfiles pueden unirse en esquinas por conexiones o por soldadura, pero el doblado es más barato y más confiable. Como ejemplo están los tubos de escape de automóvil, líneas hidráulicas en aviación y bastidores estructurales. Por lo general, los tubos y perfiles se soportan en ranuras y se doblan alrededor de bloques en forma. [10]

En la siguiente figura se ilustran los métodos comunes de doblado.

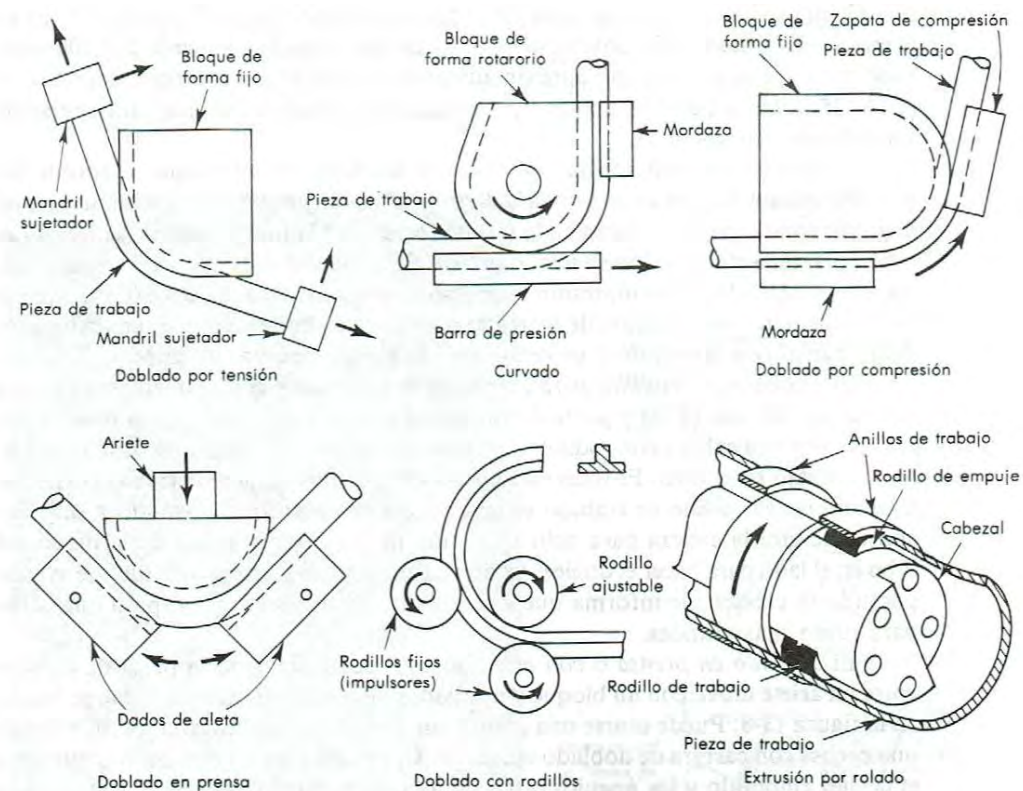


Figura 2.10 Algunos métodos para doblar tubo y perfiles estructurales. [10]

La pieza de trabajo se somete a tensión en ambos extremos mientras se dobla sobre un bloque de forma de doblado por tensión o formado. El método es lento, pero casi elimina la recuperación elástica.

2.2.3.6 Embutido

Las operaciones en esta categoría producen partes huecas de paredes delgadas o con formas de recipiente a partir de lámina de metal. Los ejemplos son recipientes sin costuras, bandejas, tinas, latas y cubiertas, paneles de automóviles, salpicaderas, techos y cofres, casquillos para cartuchos, granadas y reflectores parabólicos. La lámina de metal se estira cuando menos en una dirección, pero con frecuencia se comprime también en otras direcciones en estas operaciones. El trabajo se hace principalmente en frío, pero algunas veces se hace en caliente.

El embutido en dado rígido es un claro ejemplo de la aplicación de este proceso, en el pueden embutirse una gran variedad de formas a partir de lámina de metal. La acción básica en todas se encuentra en el embutido de una copa redonda y se utilizará para ilustrar los principios. Una copa con orilla uniforme es un ideal. En la mayoría de los casos la orilla sale dispareja debido a la anisotropía del metal y la copa se hace más alta de lo necesario. El exceso se recorta después.

En la siguiente figura 2.11 se muestra la forma en que se embute una copa. El machote se coloca en la parte superior de un bloque dado. El punzón empuja el fondo de la copa dentro del agujero en el bloque y embute el metal remanente sobre la orilla del agujero para formar dados. Las orillas del punzón y del dado deben redondearse para evitar cortar o desgarrar el metal. Para evitar el arrugamiento, se aplica presión en la brida por un planchador o reten de machote. En la práctica, la presión se obtiene mediante resortes, colchones de hule, cilindros de aire comprimido o un areite auxiliar en una prensa de doble acción. El machote se lubrica para ayudar a que se deslice bajo el planchador y sobre el borde del dado. ^[12]

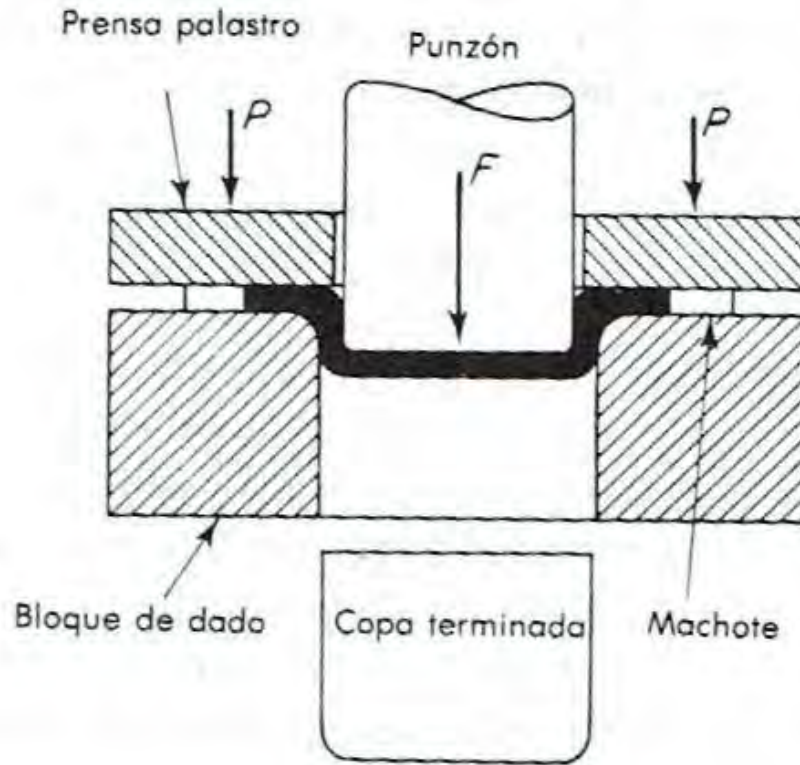


Figura 2.11 Forma en la que se embute una copa. La fuerza con la que el punzón desplaza el material entre los dados crea una deformación permanente con la forma de copa deseada. ^[12]

CAPÍTULO 3.

DOBLEZ DE TUBERÍA REDONDA.

3.1 Tubos con costura y sin costura.

La tubería es principalmente requerida para conducción de fluidos como agua, gas, petróleo y concentrados; sin embargo, también son extensamente utilizados con fines estructurales y arquitectónicos como en pasamanos, puentes, estructuras de muebles, etc.

Para alargar su vida útil, los tubos pueden ser galvanizados o recubiertos tanto interna como externamente. Dependiendo de los requerimientos se puede elegir el material adecuado de la tubería que se necesita, por ejemplo, en los hogares es muy utilizada la tubería de cobre para el transporte de agua potable y en la industria alimenticia se utiliza tubería de acero inoxidable. Si se va transportar algún fluido es necesario analizar las condiciones de trabajo del sistema como corrosión, presión o temperatura; si la tubería va estar sujeta a esfuerzos seleccionar el grosor de la pared adecuada para soportarlos.

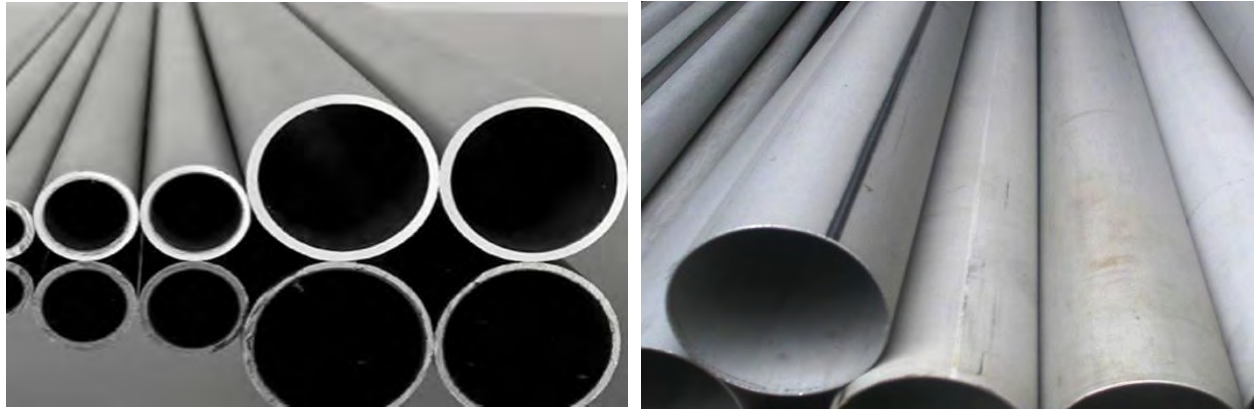
Los tubos de acero están en todas partes y los podemos encontrar bajo tierra, paredes residenciales, laboratorios y en estructuras comerciales e industriales. Los tubos pueden transportar agua, gas L.P., aire comprimido, residuos y diferentes tipos de cableado.

Los tubos de acero sin costura se producen utilizando un molde de extrusión, también se pueden producir por fundición vertiendo el acero fundido en un molde de colada, aunque este método ya no es muy común hoy en día. Los tubos con costura se fabrican por laminación de una hoja de acero en un cilindro y soldando la costura y son más económicos.^[13]

Utilizar tubería sin costura tiene algunos beneficios, el mayor de ellos es poder aumentar los niveles de presión, ya que en la tubería con costura el punto más débil es donde se unen las dos laminas por soldadura. La tubería de acero sin costura no tiene soldadura, por lo que la resistencia a la tracción es uniforme alrededor de toda la circunferencia.

Debido a que la tubería sin costura es una extrusión continua de aleación, se aprovecha la verdadera redondez de la circunferencia. El tubo de costura soldada, invariablemente no es tan redondo en el área de sección trasversal como lo es un tubo sin costura, porque la tubería soldada se envuelve

alrededor de otra forma antes de ser soldada, la soldadura suma calor y el equipo suma estrés para mantener el tubo junto. Este proceso introduce variables que permiten la deformación de la redondez, sin embargo, los tubos sin costura mantienen una sección transversal redonda. [14]



a)

b)

Figura 3.1 a) Ejemplo de tubería sin costura, mostrando una sección transversal redonda sin unión por soldadura. 3.1 b) Ejemplo de tubería con costura nos muestra la unión por medio de soldadura a lo largo de todo el tubo. [14]

3.2 Naturaleza del doblado de tubería redonda.

Este proceso mecánico de doblado de tubería redonda lleva a cabo dos principios que suceden de manera simultánea en la zona de doblado del tubo. Por un lado, el material en el interior de la curva se comprime y se engrosa la pared, por el otro lado, el exterior de la curva se tensa y se adelgaza la pared, quedando un leve aplanamiento externo en la zona de doblado debido a la acción de estas fuerzas.

Un tubo puede doblarse en múltiples direcciones y ángulos. Una curva simple consiste en la formación de un codo que va desde los 2° a 90° y curvas de 180°.

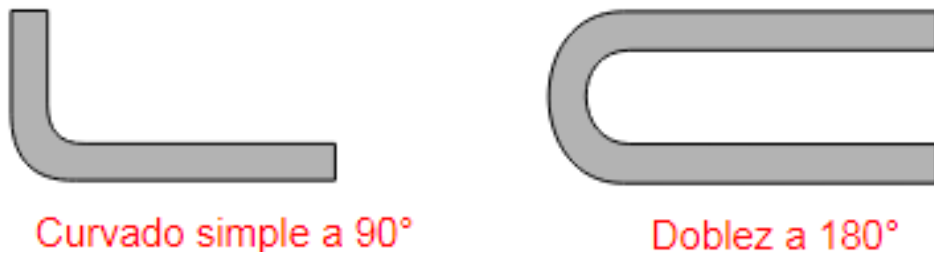


Figura 3.2 Curvado simple a 90° y doblado a 180°. [14]

Existen geometrías más complejas que incluyen dos o más curvas y doblez en diferentes direcciones o planos (X Y Z).

En este proceso se presentan dos esfuerzos que ocurren simultáneamente: por un lado, el interior de la curva se comprime y en el exterior se tensa. Esta combinación de esfuerzo causa adelgazamiento y elongación de la pared externa también llamada “lomo” y engrosamiento y acortado de la pared interna también llamado “garganta”.

Como consecuencia hay una tendencia de aplanamiento en el lomo y arrugamiento en la garganta.

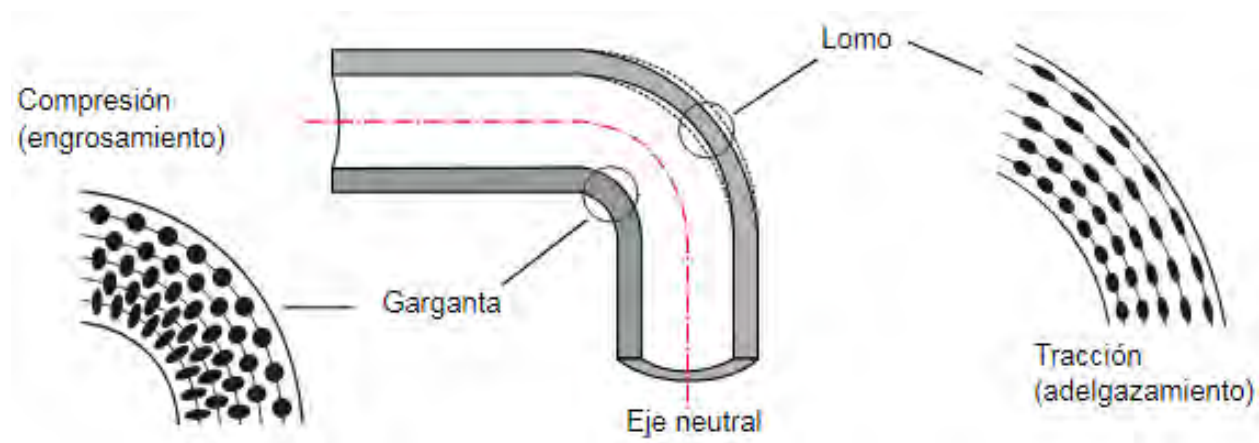


Figura 3.3 Nos muestra en secuencia la operación de tracción y compresión en un doblado de tubo. ^[14]

Dependiendo del ángulo de curvado. El espesor de la pared del tubo y la forma en la que se aplica el proceso pueden formarse arrugas o pliegues de flexión.

En general, el objetivo es evitar que se genere una ruptura como el aplanamiento y así formar un doblado uniforme lo cual no genera mayor problema cuando el tubo tiene un grosor de pared ancho y el radio de curvatura es amplio, pero cuando una pieza es delgada y con un radio de curvatura muy cerrado aumentan los riesgos de fractura, arrugamiento o pliegues de flexión en la garganta y aplanamiento del lomo.

Este método tiene una amplia aplicación para el transporte de fluidos en la industria química, componentes estructurales en fábricas aeronáuticas, en la industria automotriz, edificaciones, en construcción civil, maquinaria, muebles, rieles, andamios, entre otros.

El proceso de doblez de tubo implica el uso de la fuerza mecánica para empujar material en las paredes del tubo, obligándolo a formar una curvatura con un radio específico. Este doblez tiene como objetivo cambiar su dirección formando una curvatura.

Para tener un doblez correcto, es muy importante tener en cuenta los siguientes factores que afectan la operación: el espesor de la pared y el diámetro del tubo, la cantidad de dobleces y su complejidad, el material y la forma del tubo, diseño, acabado y número de piezas, todo esto con el fin de determinar el método a utilizar.

El diámetro interior y exterior del tubo, el espesor nominal de la pared y el eje neutro son características inherentes de la pieza.

La correcta relación de dimensión del tubo con el radio de curvado es uno de los parámetros más importantes a considerar para evitar el defecto de pliegues dentro de la curva.

El radio de curvado siempre se toma en el eje neutro (fibras situadas en el plano que pasa por el eje central del tubo y en sentido perpendicular al plano de curvado). La longitud de un tubo curvado es igual a la longitud del eje neutro. [13]

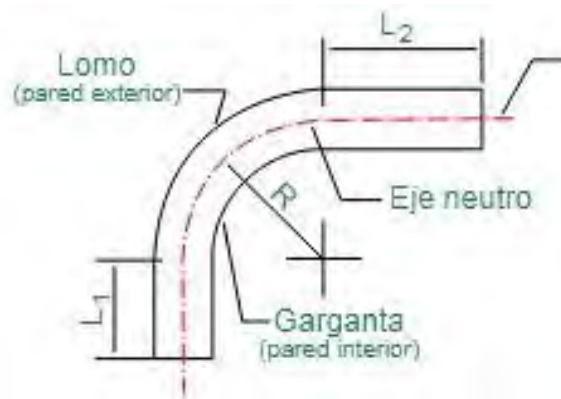


Figura 3.4 En esta figura podemos observar la forma correcta para calcular la longitud de un tubo curvado.

$$\text{Longitud de tubo} = L1 + \frac{\pi R \alpha}{180} + L2 \quad (3.1)$$

Donde α es el ángulo en grados y R el radio de curvado.

Para curvar un tubo con soldadura, es recomendable hacer coincidir la soldadura con el eje neutro, aunque como hoy en día las soldaduras se realizan en condiciones óptimas y los tubos son sometidos a estrictos controles de calidad, esta precaución puede omitirse en algunas ocasiones.

Existen algunas reglas a considerar:

- a) El espesor inicial ha de conservarse todo lo posible, es decir, el adelgazamiento en la pared del lomo debido al alargamiento de las fibras exteriores y el engrosamiento de la garganta por el acortamiento de las fibras interiores han de ser pequeños, ya que debe mantenerse una cierta resistencia mínima a lo largo de toda la tubería.
- b) Si el tubo va protegido por un recubrimiento (galvanizado, material plástico, etc.), este no debe destruirse en el curvado.

El radio mínimo de curvado al que se puede doblar un tubo es alrededor de 1.5 veces el diámetro nominal del tubo cuando se usa un mandril (herramienta empleada para apoyar el interior del tubo para mejorar la calidad de la curva); y 3 veces el diámetro nominal del tubo cuando no se utiliza un mandril. También se tiene que considerar el espesor de la pared del tubo. [14]



Figura 3.5 La imagen nos muestra la variedad de mandriles que pueden ser utilizados para dobles de tubo. [14]

Un método más viejo y no menos funcional es rellenar los tubos con arena compactándola antes de doblarlos, esto evita que el tubo se aplane mucho el lomo y obtener una curva mucho más uniforme.

CAPÍTULO 4.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA LA DOBLADORA DE TUBO.

En el laboratorio de ingeniería LIME II Manufactura, se encuentra una dobladora de tubo de la marca “Hefesto” la cual lleva tiempo sin ser utilizada y como ya se describió en el objetivo, se busca habilitarla diseñando y fabricando los dispositivos necesarios para un correcto funcionamiento. Como se muestra en la figura 4.1 la maquina se encuentra oxidada y sin los aditamentos necesarios para realizar doblado de tubo.



Figura 4.1 Dobladora de tubo inhabilitada en LIME II Manufactura.

Para dar inicio a la fabricación de los dispositivos se necesita analizar la ingeniería con los principios básicos, es decir, la forma en la que funciona la máquina, las piezas de las que disponemos y así diseñar y fabricar las piezas faltantes. Es aquí donde nos encontramos con la dificultad de que no se dispone de un manual de usuario, por la antigüedad de la maquina es sumamente complicado conseguir un diagrama donde se puedan observar las piezas faltantes a pesar de tener la marca y el modelo de la máquina.



Figura 4.2 Dados con los cuales cuenta la máquina inicialmente.

Contamos las siguientes piezas:

- Dado y polea de 29 mm.
- Dados y poleas de 19 mm.
- Dados y poleas de 13 mm.

4.1 Diseño y fabricación de dispositivos para doblar tubo con dados de 29mm.

Primeramente, se procede a presentar las piezas en la dobladora para ver las piezas faltantes, su acomodo y función.



Figura 4.3 Presentación de dado y polea 29 mm. en dobladora.

Observamos que la primera pieza que nos hace falta es una mordaza u opresor de tubo contra el dado, el cual va hacer la función de presionar el tubo y así hacer la tracción para que el tubo vaya tomando la forma del dado, tomando en cuenta que es una máquina de dado rotatorio.

Como se puede observar en la figura 4.4, este opresor se va fabricar a partir de una barra de acero de 2" de diámetro.



Figura 4.4 Barra de acero para fabricación de opresor para dados de 29 mm.

Al tener la forma y las dimensiones de la pieza que se necesita, se procede a diseñarla en un software de modelado, en este caso utilizamos SolidWorks.

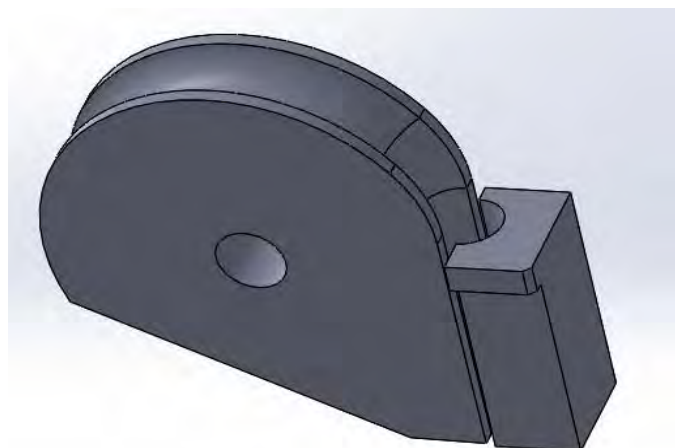


Figura 4.5 Modelado de opresor para dado 29 mm. hecho en SolidWorks. Se muestra como se colocará el opresor y cómo funcionará el desplazamiento realmente.

Primeramente, tenemos un trozo de barra de cold rolled con un diámetro de 2" a la cual se le maquinará un refrentado en sus extremos para tener una cara de referencia y también para eliminar cualquier inclinación ocasionada a la hora de cortar el material. Antes de proceder con los siguientes maquinados, trazamos sobre la superficie de la pieza los bordes hasta donde se va a maquinar y así tomar la decisión de que maquinado hacer primero.

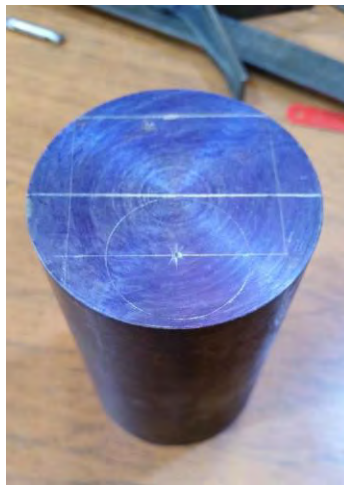


Figura 4.6 Trazado sobre la superficie de la pieza a trabajar para fabricar opresor de tubo 29mm.

En la figura 4.6 podemos observar como marcamos el centro de la circunferencia con un punto de golpe para proceder a maquinarla en el taladro. Comenzamos con una broca de centros para posteriormente ir escalonando las brocas hasta llegar al diámetro deseado.



Figura 4.7 Fijación de la pieza a trabajar en una prensa y esta a su vez sujeta con prensas de carpintero en un taladro vertical para realizar la secuencia escalonada de las barrenaciones

Como se muestra en la figura 4.8, se fue barrenando con diferentes tamaños de brocas desde la de 1/4" hasta llegar a la de 29/32".



Figura 4.8 Se muestra la secuencia de barrenación con diferentes tamaños de brocas.

Para agilizar el trabajo nos vimos en la necesidad de elaborar un dispositivo llamado pecho paloma para ser utilizado en el taladro, el cual se diseñó a partir de una barra de acero de 1" de diámetro y así nos ahorramos mucho trabajo.

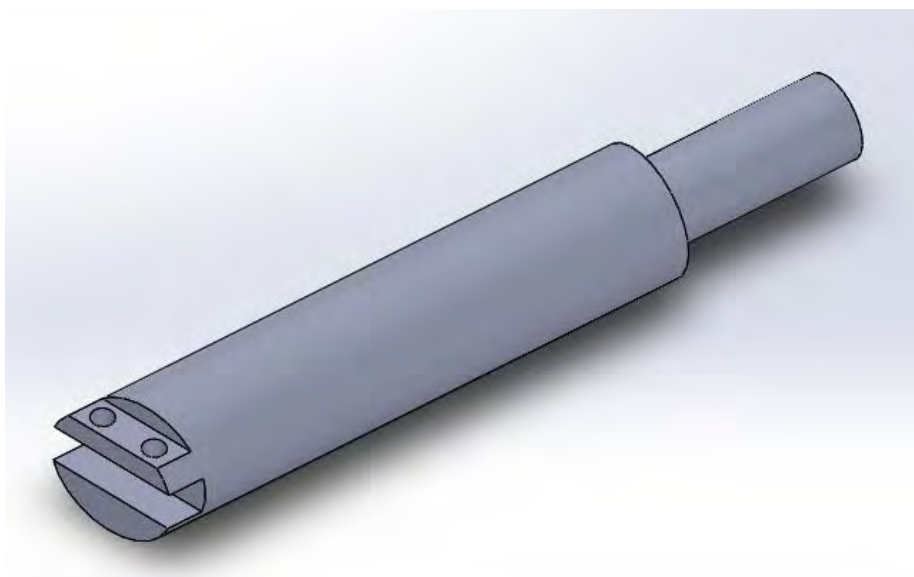
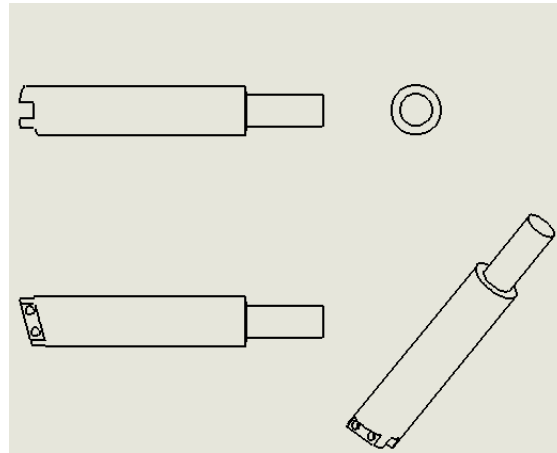


Figura 4.9 Diseño de dispositivo pecho paloma para barrenación hecho en SolidWorks.

Hoja de Proceso 1. Dispositivo pecho paloma.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
3	Cilindrado	Torno	Buril 1/4"	210
4	Cilindrado	Torno	Buril 1/4"	210
5	Desbaste en ángulo	Fresadora	Cortador 1/4"	210
6	Desbaste en ángulo	Fresadora	Cortador 1/4"	210
7	Desbaste en ángulo	Fresadora	Cortador 1/4"	210
8	Desbaste en ángulo	Fresadora	Cortador 1/4"	210
9	Barrenado	Taladro	Boca de centros	320
10	Barrenado	Taladro	Broca 11/64"	320
11	Barrenado	Taladro	Broca de centros	320
12	Barrenado	Taladro	Broca 11/64"	320
13	Roscado	-----	Machuelo 3/16"	-----
14	Roscado	-----	Machuelo 3/16"	-----

Tabla 4.1 Hoja de proceso para fabricación de dispositivo pecho paloma.

En la figura 4.9 se muestra que este dispositivo está diseñado para que en la parte inferior se coloque un buril de 1/4" sujeto con un par de prisioneros y ser sostenido por el broquero en la parte superior. Se ajusta la saliente del buril dependiendo del diámetro que se necesite barrenar y se aprietan los prisioneros para fijar el buril. El buril se desliza en una pendiente de 30° sobre la ranura según las necesidades que se requieran.

Para la fabricación de este dispositivo, se colocó la barra de acero en el torno para darle las dimensiones requeridas por medio de refrentado y un cilindrado. Posteriormente se trazaron las zonas de desbaste en una cara del cilindro para maquinarlo en la fresadora con el ángulo deseado.



Figura 4.10 En esta figura observamos el cilindrado en torno del dispositivo pecho paloma.



Figura 4.11 Nos muestra el maquinado en la fresadora de las ranuras para una mayor versatilidad.

Teniendo la forma y las dimensiones requeridas en la pieza de trabajo, se procede a hacer la barrenación y cuerdas para colocar los prisioneros que sujetaran el buril como se muestra en la siguiente figura 4.12.



Figura 4.12 Se muestra la secuencia del maquinado en dispositivo pecho paloma, comenzando por las barrenaciones al diámetro deseado, el roscado y la colocación de los prisioneros de llave allen.

Con el dispositivo listo podemos continuar con la barrenación del opresor. Se coloca el buril en el dispositivo pecho paloma, se ajusta la saliente del buril, se aprietan los prisioneros y comenzamos a barrenar como se muestra en la figura 4.13, acercando lo más posible al diámetro deseado.



Figura 4.13 Barrenación por medio de dispositivo pecho paloma en taladro vertical.

Para finalizar esta barrenación, utilizaremos el torno con una barra de centros para ajustar al diámetro requerido del barreno y dar un mejor acabado que el dispositivo pecho paloma no nos puede brindar, colocamos la pieza en el torno con el Chuck de cuatro mordazas ya que se necesita desfasar el centro de la pieza al centro del barreno. Para ajustar la pieza exactamente en el centro del barreno maquinamos un cilindro de madera para colocarlo en el broquero y así cambiar el centro adecuada y correctamente de la pieza en el torno.



Figura 4.14 Fabricación de dispositivo de madera para descentrar pieza en el torno con Chuck de cuatro mordazas.

Con la pieza bien descentrada en el trono, desbastamos el barreno a el diámetro deseado utilizando una barra de centros con un buril como se muestra en la figura 4.15.



Figura 4.15 Desbaste de barreno con barra de centros en torno sujetando la pieza en un Chuck de 4 mordazas.

En la figura 4.16 podemos observar que con un calibrador de alturas y un dispositivo de sujeción nos ayudamos a trazar nuevamente el centro y los bordes de la pieza para su posterior desbaste en el cepillo.



Figura 4.16 Trazo de centros y contornos con calibrador de alturas.

Se toma la decisión de desbastar la pieza en el cepillo por la gran cantidad de material a remover. Se fija la pieza en una prensa y esta a su vez se fija con tornillos a la mesa de trabajo.



Figura 4.17 Maquinado de opresor para dados de 29mm en cepillo.

Ya teniendo la geometría principal procedemos a desbastar para dejar la pestaña del diseño como se muestra en la figura 4.18, para esto comenzamos el desbaste en el cepillo removiendo la mayor cantidad de material posible para posteriormente finalizar en la fresa delineando con el cortador lo que no fue posible con el cepillo.

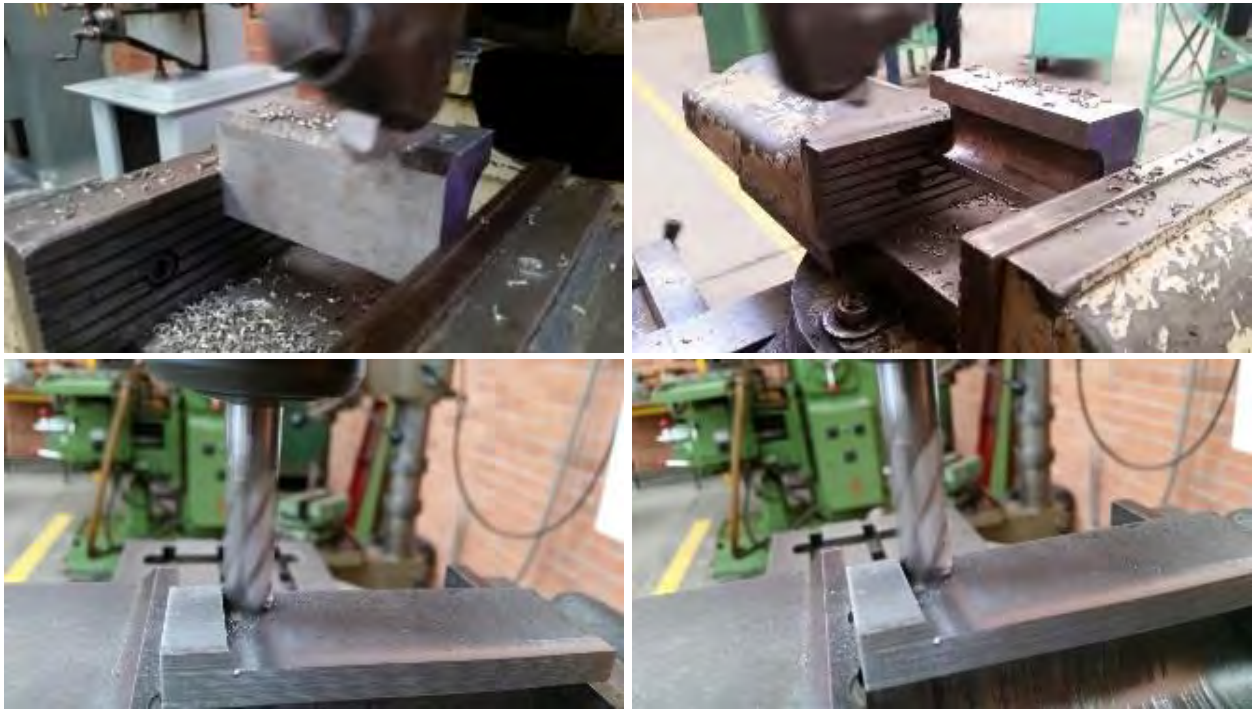


Figura 4.18 Desbaste para dejar pestaña de opresor para dados de 29mm. en cepillo y fresadora.

Fue necesario dar un ajuste de altura al opresor haciendo un desbaste mínimo en la fresadora para pasarlo al rectificado y así terminar los maquinados para esta pieza.



Figura 4.19 Se muestra el rectificado de opresor para dados de 29 mm.

Como nos muestra la figura 4.20 Se elaboró un dispositivo cilíndrico de madera con las dimensiones del barreno del opresor, esto es 29 mm. para lijar adecuadamente esta superficie curva y eliminar y pulir las imperfecciones causadas por el buril a la hora del desbaste.



Figura 4.20 Ajuste a mano lijando el opresor para dados de 29 mm. con dispositivo de madera.

Así es como queda el opresor de tubo de 29 mm. ya terminado y listo para hacer pruebas.

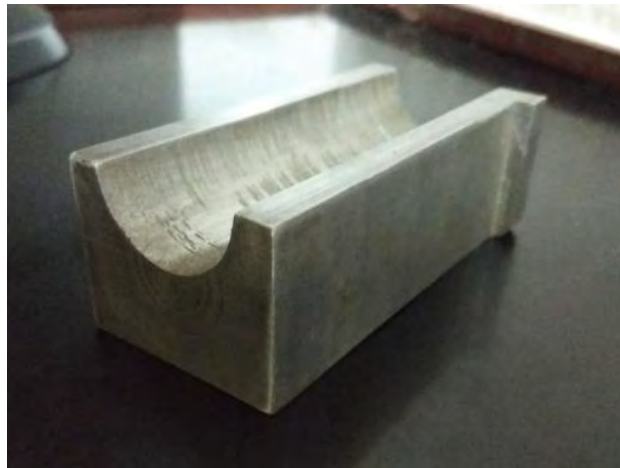
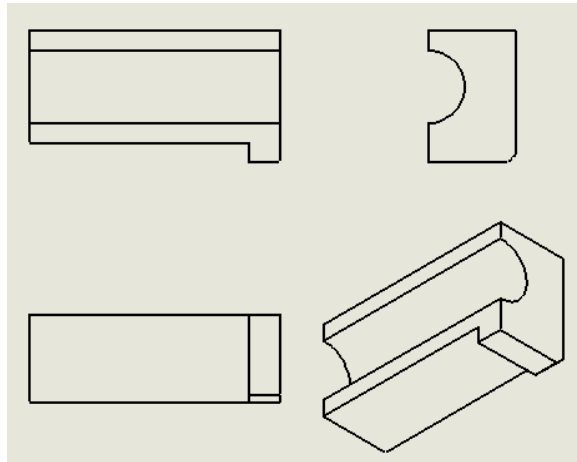


Figura 4.21 Opresor para tubo 29 mm. de diámetro exterior.

Hoja de Proceso 2. Opresor de tubo para dados 29 mm.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Barrenado	Taladro	Broca centros	320
3	Barreando	Taladro	Broca 1/4"	320
4	Barrenado	Taladro	Broca 3/8"	320
5	Barrenado	Taladro	Broca 7/16"	320
6	Barreando	Taladro	Broca 1/2"	320
7	Barrenado	Taladro	Broca 9/16"	320
8	Barrenado	Taladro	Broca 5/8"	320
9	Barrenado	Taladro	Broca 3/4"	320
10	Barrenado	Taladro	Broca 13/16"	320
11	Barrenado	Taladro	Broca 29/32"	320
12	Barrenado	Taladro	D. pecho paloma	320
13	Barrenado	Torno	Barra de centros	210
14	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
15	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
16	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
17	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
18	Desbaste	Fresadora	Cortador 1/2"	220
19	Rectificado	Rectificadora	-----	-----
20	Rectificado	Rectificadora	-----	-----
21	Rectificado	Rectificadora	-----	-----

Tabla 4.2 Hoja de proceso para fabricación de opresor de tubo para dados 29 mm.

Para hacer las pruebas necesitamos un tubo que tenga 29 mm. de diámetro exterior. Para este tipo de dobladoras se recomienda la utilización de tubería industrial, la cual sus medidas de diámetro exterior se asemejan bastante a la dimensión en milímetros de las piezas y dados independientemente del calibre del tubo, en este caso no fue posible conseguir tubería de $1\frac{1}{8}$ " de tubería industrial el cual su diámetro exterior es de 28.57 mm, sin embargo, el diámetro exterior de la tubería conduit de 1" pared delgada es de 29.5mm, por lo cual se optó por hacer pruebas con este tubo ya que es más comercial.



Figura 4.22 Pruebas de doblez en tubería con dados 29 mm.

Como podemos observar en la figura 4.22, se coloca el tubo entre el dado y la polea, posteriormente se coloca el opresor y ejercemos un esfuerzo con la palanca hasta doblar el tubo a los grados deseados. Colocando el tubo en la dobladora pudimos hacer una curva de 90° , sin embargo, observamos un arrugamiento en la garganta del doblez y un aplanamiento en el lomo, como vimos en el capítulo anterior esto podemos evitarlo con un mandril el cual no se cuenta y se procede a su diseño y fabricación.

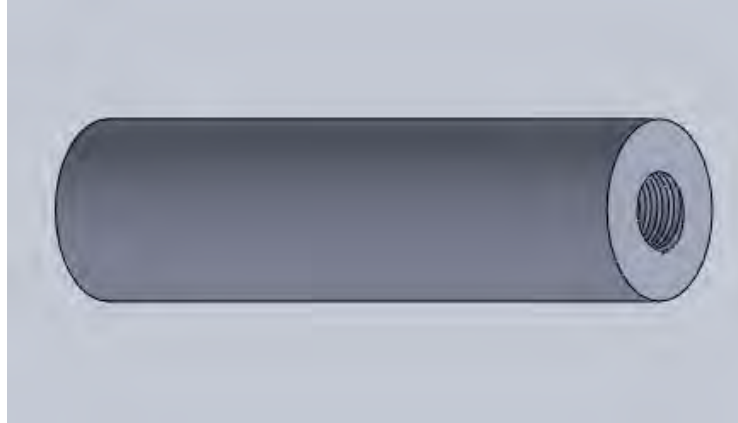


Figura 4.23 Diseño de mandril tipo inserto hecho en SolidWorks.

Como podemos observar en la figura 4.24, la dobladora de tubos cuenta con una varilla para colocar los mandriles, es una barra de $\frac{1}{2}$ " con cuerda en sus extremos, una para ajustar la saliente de la varilla a la longitud deseada con tuercas y la otra para enroscar el inserto, por lo que la pieza tiene que tener un barrenado de $\frac{1}{2}$ " con 13 hilos.



Figura 4.24 Barra para mandril con rosca de $\frac{1}{2}$ " 13 hilos con la que cuenta la dobladora.

Procedemos a la fabricación de la pieza a partir de una barra de acero de 1" haciendo un refrentado, posteriormente comenzamos con la barrenación comenzando con una broca de centros, escalonando las brocas hasta llegar a la broca de $\frac{27}{64}$ " que es la requerida para utilizar el machuelo de $\frac{1}{2}$ " 13 hilos.



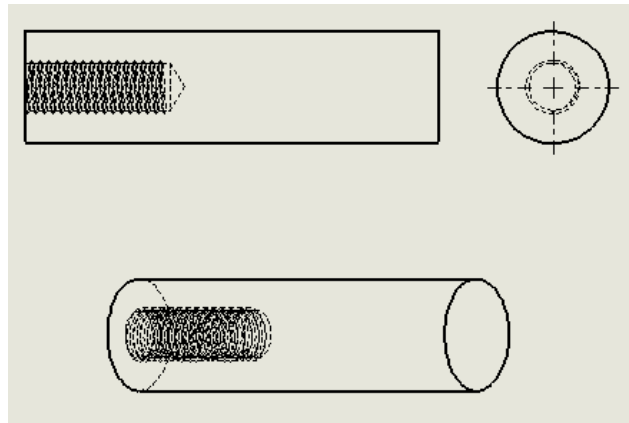
Figura 4.25 Se muestra el refrentado y la barrenación para hacer cuerda con machuelo $\frac{1}{2}$ " 13 hilos.

A continuación, cortamos la barra a la medida deseada en la sierra de banda y hacemos la cuerda con el machuelo de $\frac{1}{2}$ " 13 hilos como lo podemos observar en la figura 4.26.



Figura 4.26 Corte y roscado de mordaza para tubo de 29 mm diámetro exterior.

Hoja de Proceso 3. Mandril tipo inserto.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Barrenado	Torno	Broca centros	320
3	Barreando	Torno	Broca 3/16"	320
4	Barrenado	Torno	Broca 1/4"	320
5	Barrenado	Torno	Broca 19/64"	320
6	Barreando	Torno	Broca 1/2"	320
7	Barrenado	Torno	Broca 3/8"	320
8	Barrenado	Torno	Broca 27/64"	320
9	Corte	Sierra cinta	-----	-----
10	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	320
11	Roscado	-----	Machuelo 1/2" 13 hilos	-----

Tabla 4.3 Hoja de proceso para fabricación de mandril tipo inserto.

Montando un inserto en la dobladora de tubo queda de la siguiente manera, solo se ajusta la saliente recorriendo las tuercas de la base a la altura deseada.



Figura 4.27 Montaje de mordaza tipo inserto en la dobladora de tubos.

Teniendo lista la pieza, hacemos de nuevo una prueba con la misma tubería conduit de 1" con 29.5mm. de diámetro exterior obteniendo un resultado satisfactorio, ya que utilizando el inserto se elimina el arrugamiento de la garganta y el aplanamiento en el lomo es mínimo como se explica en la imagen 4.28.



A)

B)

Figura 4.28 Comparación de curvas a 90° realizadas en la dobladora de tubos con dados de 29 mm.

A) Se muestra la curva efectuada con un inserto de metal sin arrugamiento en la garganta y sin el aplanamiento en el lomo. B) Se observa una curva defectuosa efectuada sin inserto.

4.2 Diseño y fabricación de dispositivos para doblar tubo con dados de 13 mm.

De igual forma que con el dado para tubería de 29 mm de diámetro, procedemos a presentar las piezas en la dobladora con los dados para tubería de 13 mm. de diámetro exterior y analizar el funcionamiento, así como las piezas necesarias para su correcto funcionamiento por medio de prueba y error.



Figura 4.29 Presentación de dado y polea 13 mm para prueba y error, analizando la posibilidad de desplazar la polea mediante a un punto más conveniente.

Al presentar las piezas nos encontramos con la primera dificultad, el dado 13 mm tiene un radio de curvatura menor al de 29 mm. La distancia entre el dado y la barra para colocar la polea es muy amplia, esto impediría un doblado adecuado, ya que esta polea ejerce una presión contraria al giro del dado, concentrando el momento del tubo en el dado y así ejecutar el doblado de tubo. Este problema puede ser resultado de que los dados no son para este modelo de dobladora, o que nos hacen falta piezas para su montaje.

Para utilizar los dados tomamos la decisión de cambiar el eje neutro de la dobladora, recorriendo la polea a la distancia adecuada por medio de una placa, la cual se pueda montar y desmontar cuando sea necesario.

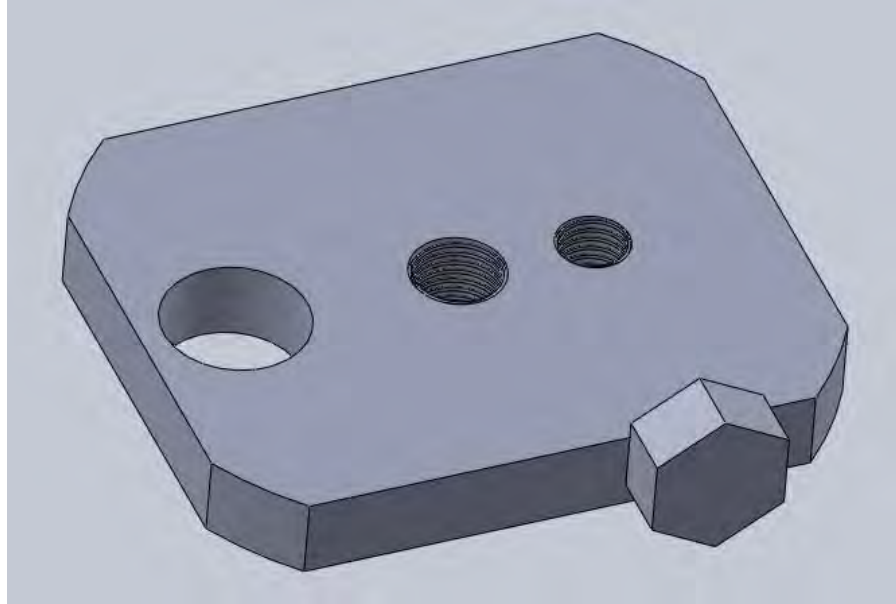


Figura 4.30 Diseño de placa porta poleas hecho en SolidWorks.

Se diseña el modelo a partir de una placa de acero de 5/8" con una perforación con cuerda en su centro, con forme se expliquen los procesos para su fabricación se irá explicando la utilidad de cada perforación a realizar.

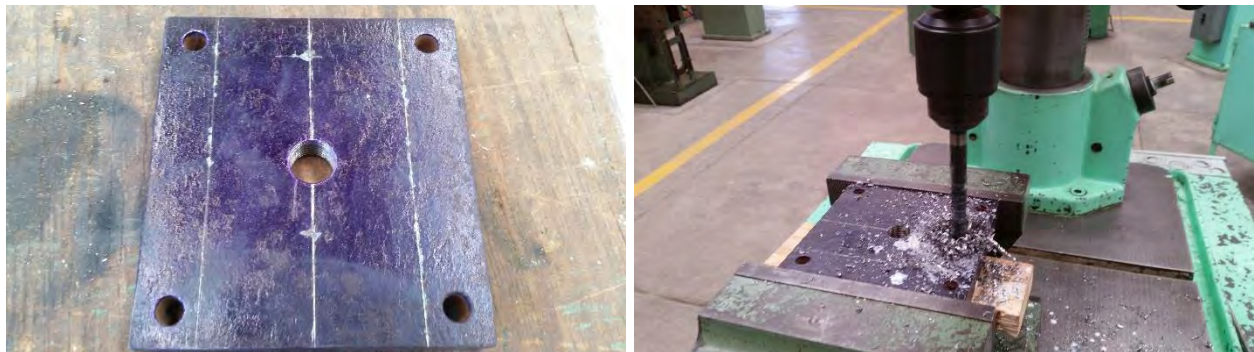


Figura 4.31 Trazado y taladrado de barreno para machuelo de 5/8" donde se enroscará la nueva barra porta polea.

En la figura 4.31 se muestra como se comienza trazando el centro de la pieza y unos ejes de simetría para marcar el centro de los barrenos a maquinar, posteriormente se marca con el punto de golpe el centro y se maquina el primer barreno escalonando las brocas, en esta perforación se colocará la nueva barra porta polea la cual se enroscará a una medida de 5/8" para esto se van ecalonando

las brocas comenzando con la de centros y terminando con una broca 3/8" necesaria para utilizar el machuelo 5/8".

Antes de continuar con el roscado se maquina la siguiente barrenación. Esta perforación servirá para ensamblar la placa a la barra porta polea de la dobladora, para esto nuevamente se marca con el punto de golpe el centro del barreno y taladramos escalonando las brocas, comenzando con la broca de centros y terminando con la broca de 1", después con ayuda del dispositivo pecho paloma fabricado anteriormente para el opresor de 29 mm. Se desbasta 190 milésimas de pulgada, medida necesaria para que la placa embone en la barra porta polea de la dobladora, dejándole una tolerancia para quitar o poner fácilmente dependiendo el tubo que se quiera doblar, todo lo anterior descrito lo podemos observar en la siguiente figura.

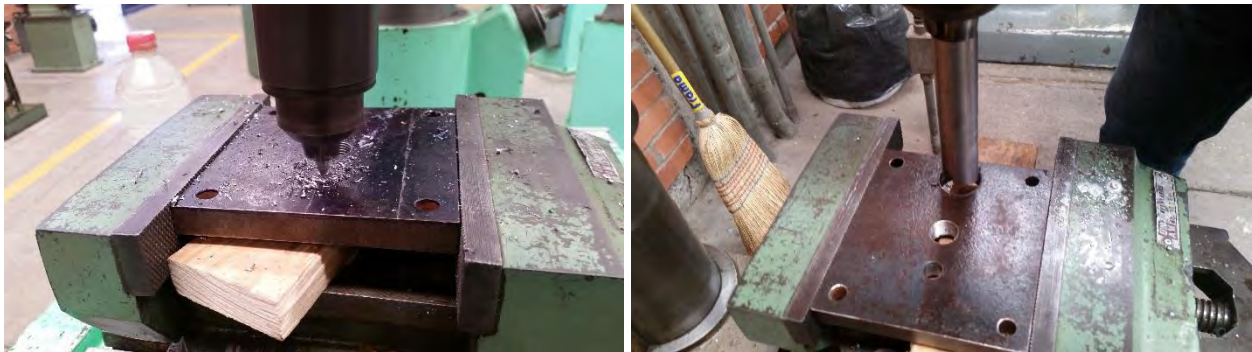


Figura 4.32 Taladrado de barreno para montar la placa en el porta polea de la dobladora.

Ya teniendo las perforaciones hacemos la rosca utilizando un machuelo 5/8" para poder colocar la nueva barra porta polea como se muestra en la figura 4.33.



Figura 4.33 Muestra la elaboración de cuerda 5/8" 11 hilos para barra porta polea.

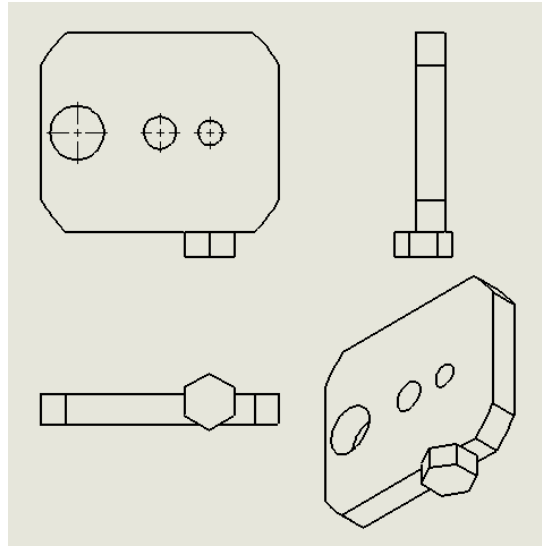
Para redondear las esquinas de la placa, colocamos un tornillo de 3/4" en la perforación que la placa tiene en su centro y cortamos la cabeza del tornillo para poder sujetarla en la prensa de banco y en el Chuck del torno. Como es una cantidad considerable de material a remover, primero quitamos las esquinas con la ayuda de una segueta para posteriormente colocarla en el torno y darle ese redondeado final como se muestra en la siguiente figura 4.34.



Figura 4.34 Redondeo de esquinas de la placa porta polea.

Teniendo lista la placa se sigue a diseñar la barra o cilindro porta polea, para ello lo hacemos a las mismas medidas que tiene el de la dobladora.

Hoja de Proceso 4. Placa porta polea.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Barrenado	Taladro	Broca centros	210
2	Barrenado	Taladro	Broca 1/4"	320
3	Barreando	Taladro	Broca 3/8"	320
4	Barrenado	Taladro	Broca 7/16"	320
5	Barrenado	Taladro	Broca 1/2"	320
6	Barreando	Taladro	Broca 9/16"	320
7	Barrenado	Taladro	Broca 5/8"	320
8	Barrenado	Taladro	Broca 3/4"	320
9	Barrenado	Taladro	Broca 13/16"	320
10	Barrenado	Taladro	Broca 29/32"	320
11	Barrenado	Taladro	Broca 1"	320
12	Barreando	Taladro	Broca centros	320
13	Barrenado	Taladro	Broca 1/4"	320
14	Barrenado	Taladro	Broca 3/8"	320
15	Barrenado	Taladro	Broca 7/16"	320
16	Barrenado	Taladro	Broca 1/2"	320
17	Barrenado	Taladro	Broca 9/16"	320
18	Barreando	Taladro	Broca 37/64"	320
19	Barrenado	Taladro	Pecho paloma c/buril 1/4"	320
20	Roscado	-----	Machuelo 5/8"	-----
21	Corte	-----	Segueta	-----
22	Corte	-----	Segueta	-----
23	Corte	-----	Segueta	-----
24	Corte	-----	Segueta	-----
25	Desbaste	Torno	Buril 1/4"	210
26	Soldadura	Planta de arco	-----	-----
27	Corte	-----	Segueta	-----

Tabla 4.4 Hoja de proceso para fabricación de placa porta polea.

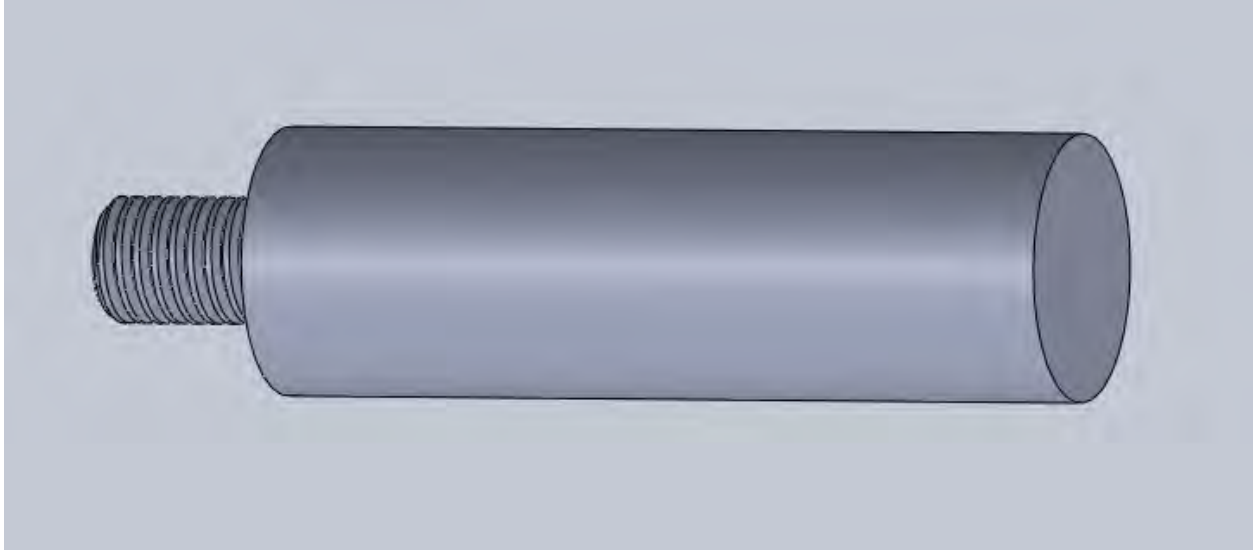


Figura 4.35 Diseño de cilindro porta polea hecho en SolidWorks.

Para la elaboración de este dispositivo mostrado en la figura 4.35 utilizaremos una pieza de hierro colado con la que se contaba, primero se procedió a darle un cilindrado a la parte donde se introduce la polea, para posteriormente darle un cilindrado a la parte donde se va realizar la rosca a una medida de 5/8”.



Figura 4.36 Cilindrado de dispositivo porta polea.

Teniendo ajustado el otro lado del cilindro a un diámetro de 5/8” se realiza la cuerda para que quede a 5/8” 11 hilos, para ello realizamos el roscado en el torno y luego con ayuda de un machuelo 5/8” 11 hilos afinamos la cuerda y corroboramos que ajuste perfectamente en la placa como se aprecia en la figura 4.37.

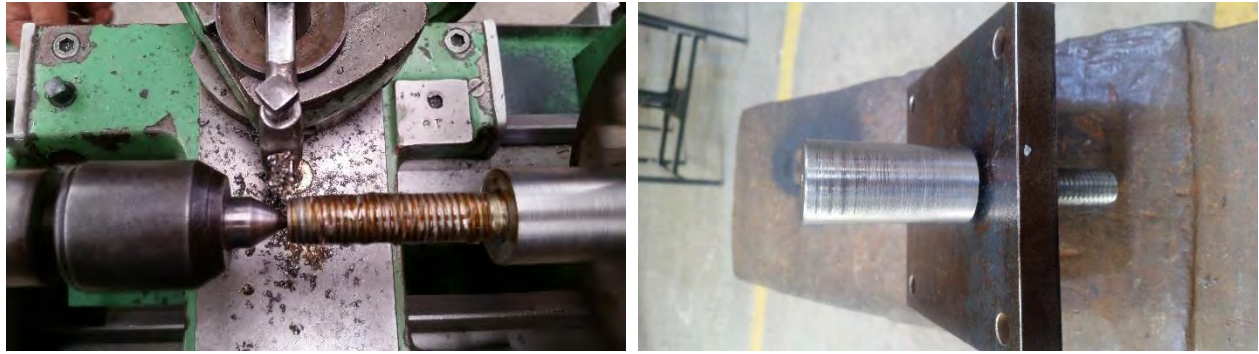
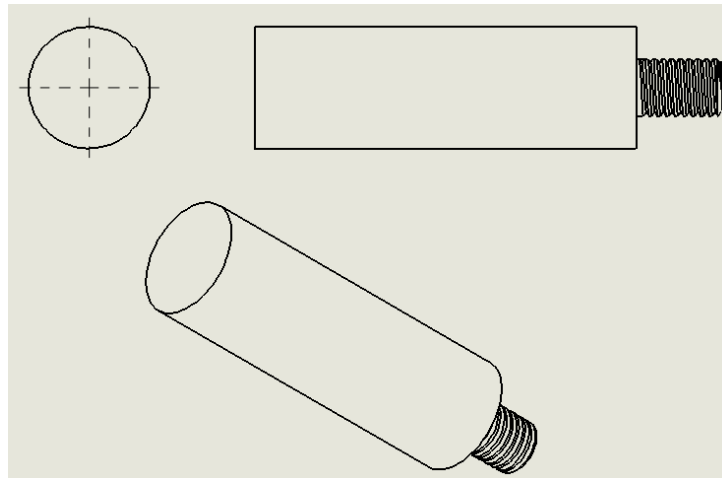


Figura 4.37 Elaboración de cuerda 5/8" 11 hilos para dispositivo porta polea que se enrosca en la plana porta polea.

Hoja de Proceso 5. Cilindro porta polea.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Cilindrado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Cilindrado	Torno	Buril 1/4"	210
3	Roscado	Torno	Buril 1/4"	210
4	Roscado	-----	Tarraja 5/8"	-----
5	Corte	Sierra cinta	Sierra	-----
6	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210

Tabla 4.5 Hoja de proceso para fabricación de cilindro porta polea.

Con los dispositivos listos para desfasar el eje neutro del doblado de la dobladora continuamos con la pieza faltante y esta es el opresor para tubo de 13 mm. de diámetro exterior que se muestra en la siguiente figura 4.37. Para la elaboración de este dispositivo partiremos de una barra de acero de 2.5” de diámetro y procedemos a hacer su diseño.

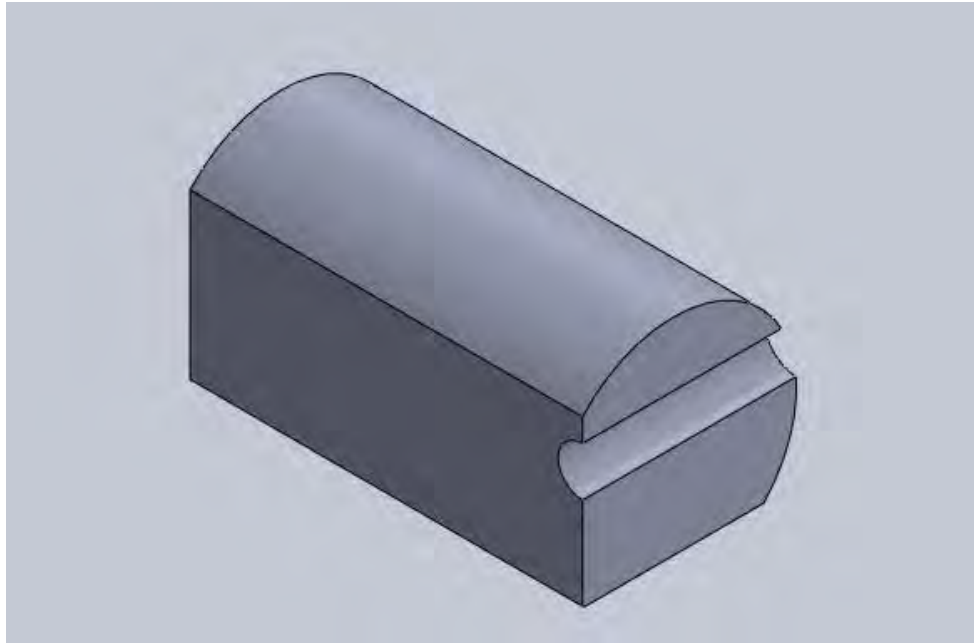


Figura 4.38 Diseño de opresor para dados de 13 mm hecho. en SolidWorks.

Para comenzar la fabricación de esta pieza, primero se comienza haciendo un refrentado en una cara de la barra de acero para poder hacer el trazado de los centros y las alturas a las que se necesita la barrenación, para ello con un bloque en “V” marcamos el centro del cilindro y de ahí partimos para sacar el centro de perforación a realizar como se muestra en la figura 4.39.



Figura 4.39 Refrentado y trazado de centro para perforación de opresor dados 13 mm.

En esta ocasión para realizar la barrenación se utiliza la fresadora, se alinea la prensa con la bancada y se sujeta con los tornillos adecuados. Como se observa en la figura 4.40, posteriormente se coloca la pieza en la prensa y se nivela el centro con la escuadra para que la perforación quede perfectamente paralela a la cara refrentada de la barra de acero. y como se ha venido haciendo con las demás barrenaciones, se comienza con una broca de centros y se van escalonando las brocas hasta llegar a la broca de 1/2" que son 12.7 mm. teniendo una diferencia de 0.3 mm, despreciable para nuestra finalidad.



Figura 4.40 Barrenación escalonada de opresor para dados de 13 mm.

Teniendo la barrenación a 1/2" lista, marcamos el centro de la perforación para remover todo el material hasta ese punto, como es bastante la cantidad de material a remover y sería muy tardado haciendo desbaste en el torno, se opta por hacer un corte aproximando a la línea del centro del barreno en la sierra de cinta y posteriormente hacer el careado hasta llegar a la distancia requerida.



Figura 4.41 Corte y refrentado frontal de opresor para dados de 13 mm.

Como se muestra en la figura 4.42, en el siguiente proceso se hace un refrentado de la cara posterior de la barra para marcar el centro y la altura a la que se realiza el desbaste para que coincidan las ranuras del dado y del opresor.

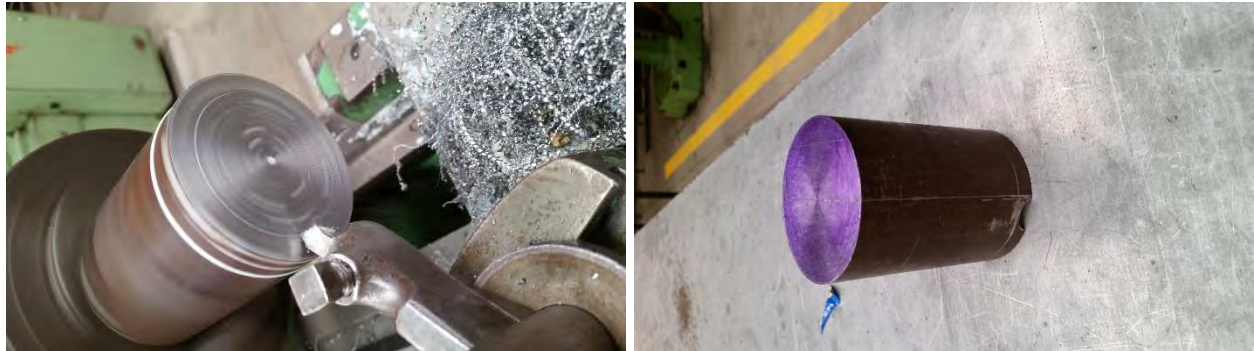


Figura 4.42 Refrentado de cara posterior y trazado de altura para desbaste.

Para este proceso realizaremos el desbaste de material en el cepillo, fijamos la prensa al cepillo con los tornillos adecuados y colocamos la pieza en la prensa asegurándonos de que quede bien nivelada. Como se muestra en la figura 4.43 se realiza el desbaste en la parte inferior de la pieza para darle la altura requerida.

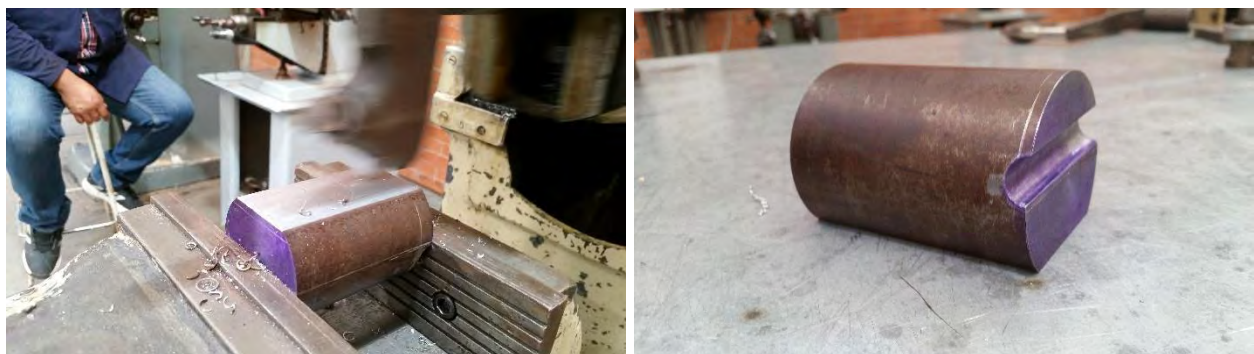


Figura 4.43 Desbaste de parte inferior de opresor para dados 13 mm.

Presentamos el opresor con el dado de 13 mm. y checamos que la altura quedó perfectamente alineada en las ranuras y hacemos la primera prueba de doblado con tubería de 1/2" acabado cromo como se muestra en la figura 4.44.

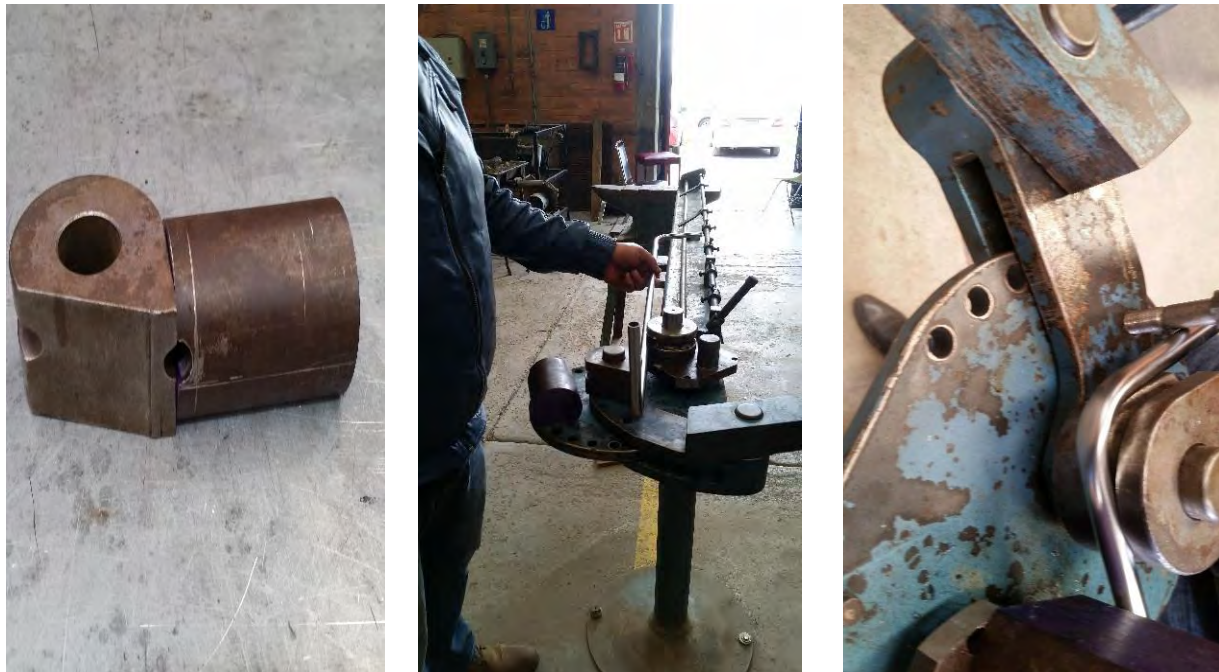


Figura 4.44 Primer prueba de dobléz en tubería de 1/2" con dados 13 mm.

El resultado de las primeras pruebas no fue satisfactorio ya que el tubo en su dobléz presentó un aplanamiento excesivo en el lomo y un pronunciado dobléz con pliegue en la garganta. Al hacer esta prueba notamos que la placa porta polea tiene un ligero juego y que al opresor tenemos que hacerle algunos ajustes en su geometría para que el tubo realice la tracción en los dados de una manera más fluida.

Al montar la placa en la dobladora notamos que la tolerancia que se le dio no era adecuada, ya que presentaba un poco de juego, para contrarrestarlo se realizó un tipo de encasquillamiento por medio de soldadura con oxiacetileno fundiendo un poco de bronce en las paredes del barreno. Después utilizando una lima y un cilindro de madera con lija ajustamos a la tolerancia adecuada a mano.

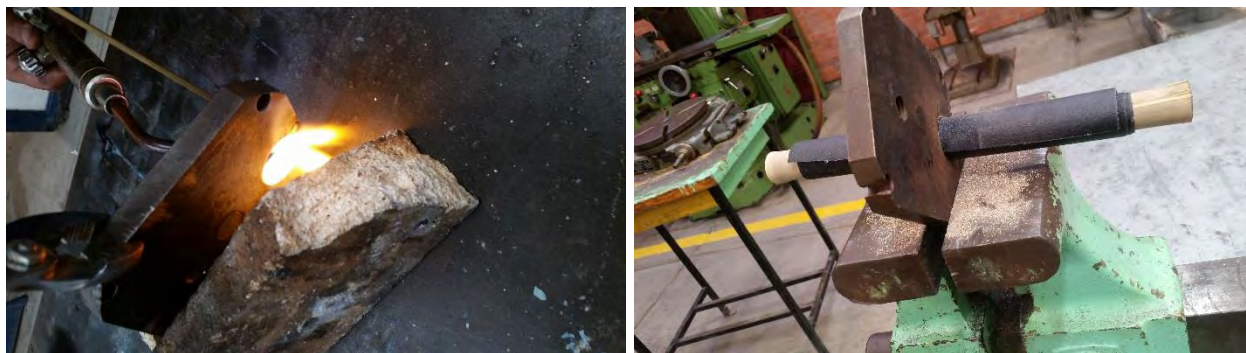


Figura 4.45 Encasquillamiento y ajuste de barreno en placa porta polea.

Para ajustar la altura de la placa a la del dado, utilizamos el tornillo de 3/4" con el que sujetamos la placa al torno, como se muestra en la figura 4.46, primero hacemos un refrentado a la cabeza hexagonal para posteriormente soldarla a un costado de la placa y utilizamos el cuerpo del tornillo para nivelar la altura en el centro de la placa, cortando al ras para no interferir con la altura de la polea sobre la placa.



Figura 4.46 Se muestra el maquinado y la soldadura de cabeza de tornillo de 3/4" para nivelar altura de la placa.

Para hacer el ajuste en la geometría del opresor para dados de 13 mm desbastaremos el excedente de la pieza en la parte donde el tubo comenzaría a doblarse para que el tubo no tenga una opresión o adherencia al opresor y se adapte mejor a la forma curvada del dado, para esto trazamos la línea hasta donde se va desbastar y la colocamos en el cepillo alineando con la escuadra para que quede perfectamente perpendicular al desbaste de la parte inferior.



Figura 4.47 Alineación perpendicular y desbaste de una cara de opresor para dados 13 mm en el cepillo.

Montamos nuevamente las piezas con los ajustes realizados para llevar a cabo una prueba nueva obteniendo mejores resultados en la curva del tubo, sin embargo, los resultados no son los esperados ya que el doblado presenta irregularidades como un aplastamiento en el lomo y en la garganta de la curva como se muestra en la figura 4.48.



Figura 4.48 Resultado de la prueba mostrando aplastamiento en el lomo y la garganta de la curva.

Estos defectos en la curvatura del tubo se deben a que a la hora de aplicar el esfuerzo en el opresor con la palanca de la dobladora este hace una ligera rotación en sentido del doblado y no oprime uniformemente al tubo contra la superficie del dado. El dado en su parte inferior tiene una ranura de 1/2" que corre a lo largo de toda la pieza, solo interrumpiéndose por el barreno para montarse en la dobladora, para corregir el defecto de curvado del tubo se realizara una ranura sobre la superficie inferior del opresor y se montaran las dos piezas sobre una barra con las dimensiones de las ranuras para que el opresor ya no se mueva de su lugar y gire uniformemente con el dado, así las piezas se moverán de manera simultánea sin que el tubo pierda presión en alguna parte a la hora de que la maquina realice la tracción para llevar a cabo el doblado.

Para hacer este proceso se necesita hacer una ranura de 1/2" por 300 milésimas de pulgada de profundidad, así que trazamos sobre la superficie inferior del opresor la altura a la que quedaría la ranura para que coincida con la ranura del dado y lo maquinaremos en la fresadora con un cortador de 1/2".

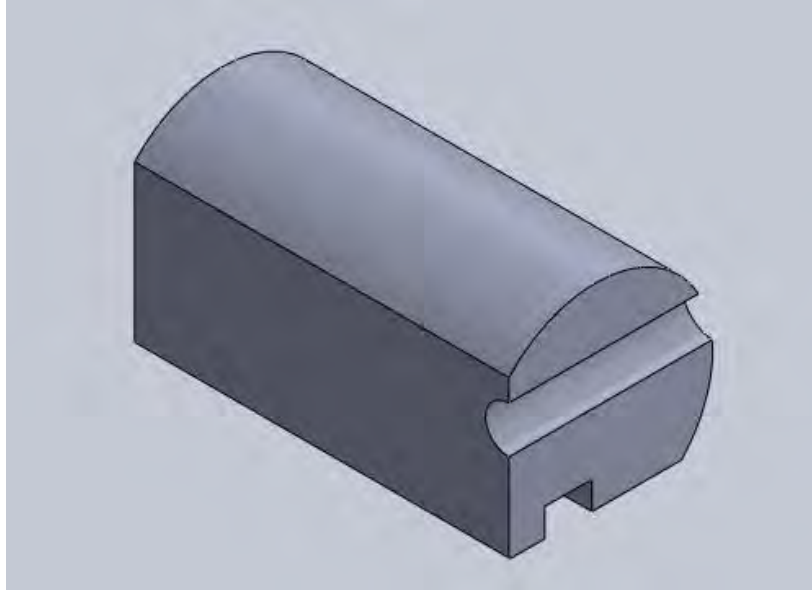


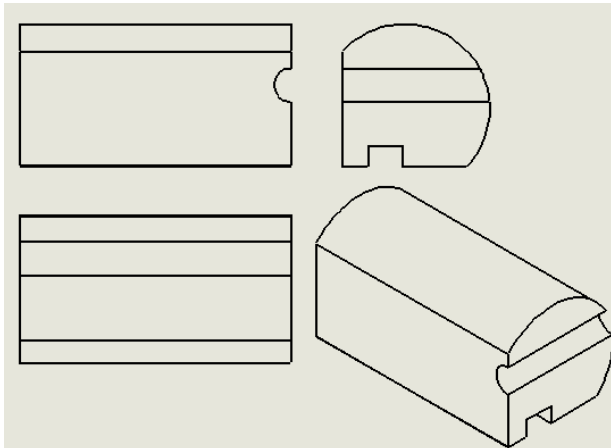
Figura 4.49 Diseño final de opresor para dados 13 mm hecho. en SolidWorks.

Para realizar este maquinado, sujetamos la prensa a la fresadora y nivelamos la pieza a trabajar para que la ranura quede perfectamente perpendicular y con el cortador de 1/2" comenzamos el desbaste hasta la profundidad requerida como se muestra en la siguiente figura 4.50.



Figura 4.50 Maquinado de ranura inferior para opresor de dados 13 mm.

Hoja de Proceso 6. Opresor de tubo para dados 13 mm.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Barrenado	Taladro	Broca centros	320
3	Barrenado	Taladro	Broca 1/4"	320
4	Barrenado	Taladro	Broca 3/8"	320
5	Barrenado	Taladro	Broca 7/16"	320
6	Barrenado	Taladro	Broca 1/2"	320
7	Corte	Sierra cinta	-----	-----
8	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
9	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
10	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
11	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
12	Desbaste	Fresadora	Cortador 1/2"	210

Tabla 4.6 Hoja de proceso para fabricación de opresor de tubos para dados 13 mm..

Teniendo lista la ranura seguimos con el maquinado de la barra sobre la que se montará el dado y el opresor, para esto ocuparemos una barra cuadrada de acero de 1/2" y la desbastaremos para que nos quede a una altura de 300 milésimas de pulgada. Trazamos la altura hasta donde tenemos que desbastar y la maquinaremos en la fresadora.

Como se muestra en la figura 4.51, montamos la barra en la prensa de la fresadora, nivelamos y comenzamos su maquinado, para ello comenzamos con un cortador de 1/2" y finalizamos el

maquinado con un dispositivo pecho paloma con un buril de 1/2" para avanzar más rápido el desbaste.



Figura 4.51 Maquinado de barra donde se montarán el dado y el opresor de 13 mm.

Con las nuevas modificaciones hechas proseguimos a realizar la prueba de doblez con tubo de 1/2" acabado cromo con un diámetro exterior de 12.7 mm. obteniendo resultados no satisfactorios, ya que al no colocar lubricante el doblez no se genera de la manera esperada ya que esta dobladora de tubos manual genera la curva por medio de tracción, al agregar un lubricante, en este caso utilizamos WD40, los resultados mejoran notablemente ya que con esto obtuvimos los resultados que esperábamos, un resultado satisfactorio, ya que el curvado de tubo se realiza de manera uniforme sin presentar pliegues en la garganta de la curva o un aplanamiento en el lomo de la misma.



a)

b)

Figura 4.52 Comparativa de resultados en doblez de tubo de 1/2" con dados de 13 mm.

a) Observamos un doblez con aplanamiento en el lomo y garganta. b) Observamos un doblez uniforme sin aplanamiento o arrugamiento en lomo y garganta.

4.3 Diseño y fabricación de dispositivos para doblar tubo con dados de 19 mm.

Al presentar los dados en la dobladora, notamos que como con los dados de 13 mm. se necesita desfasar el eje neutro del tubo ya que el dado de 19 mm. tiene un diámetro menor que el de 29 mm. para ello utilizaremos la placa porta poleas que fabricamos anteriormente, esta placa al voltearla y girar el tornillo de altura hacia la otra cara nos da la distancia requerida y la altura para que la polea ejerza la presión contraria necesaria para que el tubo se doble adecuadamente, por lo que solo necesitamos fabricar el opresor para tubo, en este caso será para tubería lo más aproximada a 19 mm de diámetro exterior.

Para elaborar el opresor de tubo para dados de 19 mm. partiremos de una barra de acero de 2.5" de diámetro y comenzamos haciendo su diseño para su posterior fabricación.

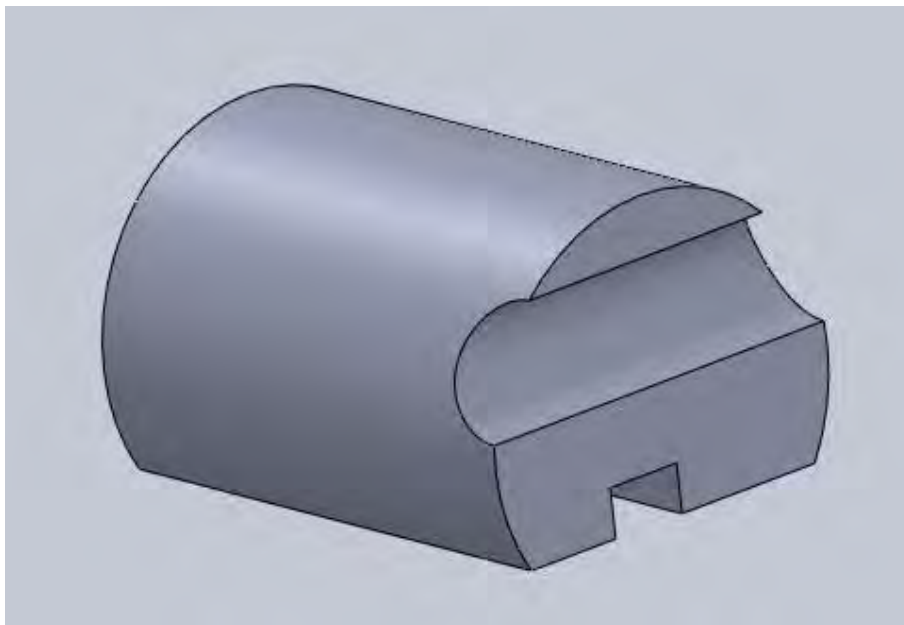


Figura 4.53 Diseño de opresor de tubo para dados de 19 mm hecho en SolidWorks.

Comenzando con la fabricación del dispositivo primero realizamos un careado para corregir los defectos creados por el corte en la sierra de cinta para posteriormente apoyarnos en esa cara y trazar los centros de la pieza y lo que será el centro de la perforación a 3/4" que necesitamos elaborar, como se muestra en la figura 4.54.

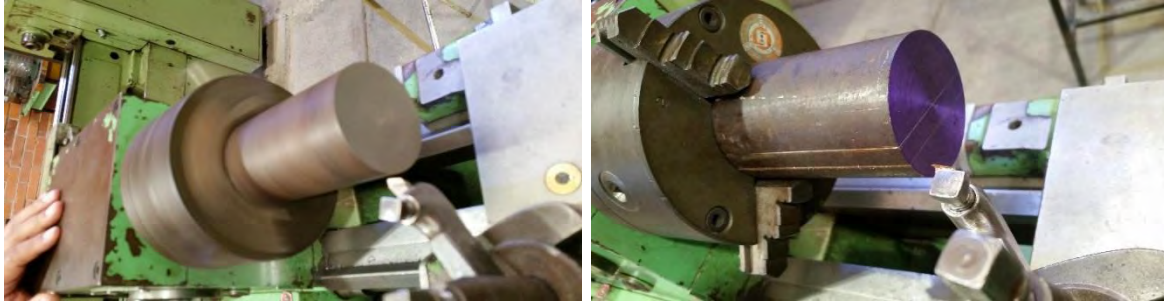


Figura 4.54 Refrentado y trazo de centro de pieza y centro de la perforación a realizar para opresor a partir de una barra de acero de 2.5" de diametro.

Teniendo marcado el centro de la perforación, sujetamos la prensa a la fresadora y colocamos la pieza nivelándola con la ayuda de una escuadra para comenzar las barrenaciones escalonando las brocas, comenzando con la broca de centros y terminando con la broca de 9/16", la barrenación a 3/4" se realiza en el taladro vertical ya que en ese momento no contábamos con un broquero más grande para colocar la broca en la fresadora, así que colocamos la prensa en el taladro y la sujetamos con unas prensas de carpintero para que no se moviera la pieza de su lugar y hacer una barrenación correcta con la broca de 3/4" como se muestra en la figura 4.55.



Figura 4.55 Barrenación de opresor para dados 19 mm. escalonando brocas en fresadora y taladro.

El siguiente proceso es realizar un desbaste de la cara a la mitad de la perforación para que sujete al tubo sobre el dado de 19 mm. Como es una cantidad considerable de material a desbastar en el torno, tomamos la decisión de hacer un corte aproximado a esa distancia en la sierra de cinta para

posteriormente ajustar la distancia en el torno por medio de un refrentado, estos dos procesos se muestran en la siguiente figura 4.56.

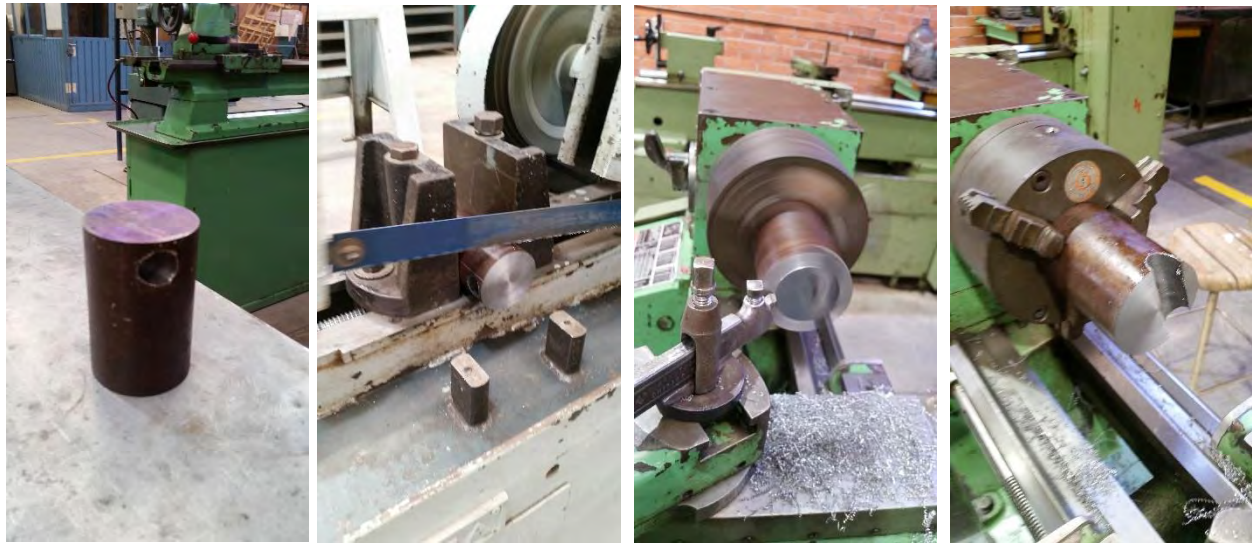


Figura 4.56 Corte y desbaste de cara frontal del opresor para dados 19 mm.

El siguiente proceso es desbastar a la altura del dado y que las dos ranuras coincidan para que haga una correcta opresión del tubo, para ello realizamos el desbaste de la cara inferior del opresor en el cepillo, corroborando la altura con el vernier de alturas. Sujetamos la prensa al cepillo y colocamos la pieza en la prensa nivelando bien las alturas de desbaste para proceder al maquinado.



Figura 4.57 Desbaste de cara inferior del opresor para dados de 19 mm y corroborando con el calibrador de alturas

Al presentar las piezas en la dobladora para checar que coincidan bien las alturas del dado y del opresor notamos que hacía falta darle un ligero ajuste a la cara frontal del opresor ya que no presionaba adecuadamente el tubo en toda la superficie, para esto le damos un refrentado de 20 milésimas de pulgada en el torno como se muestra e la figura 4.58.



Figura 4.58 Ajuste con refrentado de cara frontal de opresor para dados de 19 mm.

El dado de 19 mm al igual que el dado de 13 mm tienen en la parte inferior una ranura de 1/2" por lo que al opresor de 19 mm. también se le hará el acanalado para que se monte sobre la barra de 1/2" que anteriormente ya se ha fabricado, de esta forma aseguramos que tanto el dado como el opresor giren de manera simultánea montándose los dos sobre la barra y que a la hora ejercer el esfuerzo para doblar el tubo no se separen y que el doblado se realice de manera adecuada.

Para realizar el proceso de ranurado, comenzamos trazando sobre la parte inferior del opresor el centro de la ranura y los límites de la misma para que queden alineados con la ranura que tiene el dado, posteriormente se realiza el maquinado en el cepillo afilando el buril con la punta más alargada y cuadrada para que esta pueda tener más profundidad a la ranura conforme vayamos dando profundidad de corte, después solo se ajustará la geometría perfectamente cuadrada en la fresadora con el cortador de 1/2" a una profundidad de 300 milésimas de pulgada. En la figura 4.59 se muestra el proceso de desbaste en el cepillo y en la fresadora de dicho acanalado.



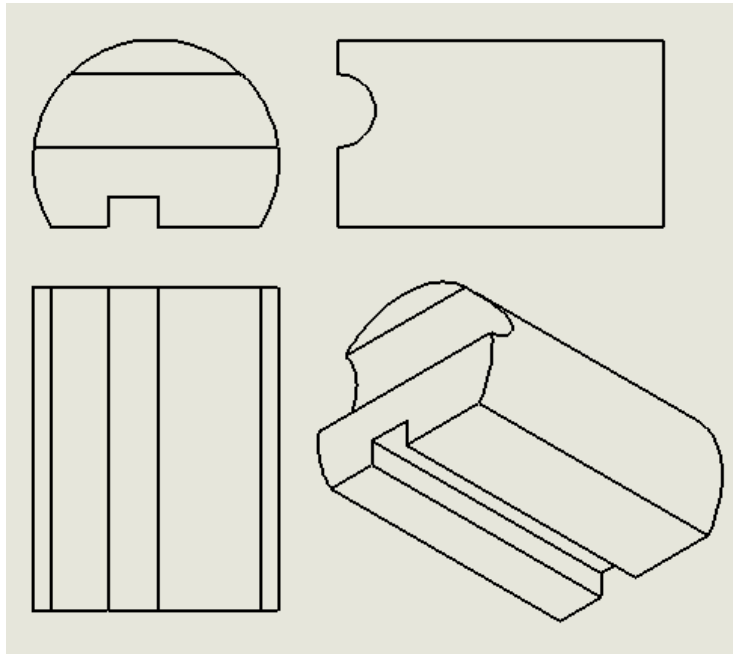
Figura 4.59 Maquinado de ranura inferior para opresor de dados de 19 mm.

Teniendo listo el opresor, montamos las piezas en la dobladora sin olvidar utilizar la placa porta poleas del lado contrario a las pruebas anteriores para tubería de 1/2", ya que la distancia de la polea con el dado debe de ser un poco mayor, también girando el tornillo para darle la altura necesaria para el dado de 19mm. Como se muestra en la figura 4.60, realizamos una prueba en tubería industrial de 3/4" con un diámetro exterior de 19.05 mm. obteniendo resultados satisfactorios, ya que el doblado se presenta sin arrugas o pliegues en la garganta de la curva y con solo un mínimo aplanamiento en el lomo de la curva.



Figura 4.60 Prueba de doblado satisfactoria en tubería industrial de 3/4" con dados de 19 mm.

Hoja de Proceso 7. Opresor de tubo para dados 19 mm.



No. De Fase	Operación	Maquina	Herramienta	RPM
1	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
2	Barrenado	Taladro	Broca centros	320
3	Barrenado	Taladro	Broca 1/4"	320
4	Barreando	Taladro	Broca 3/8"	320
5	Barrenado	Taladro	Broca 7/16"	320
6	Barrenado	Taladro	Broca 1/2"	320
7	Barreando	Taladro	Broca 9/16"	320
8	Barrenado	Taladro	Broca 5/8"	320
9	Barrenado	Taladro	Broca 3/4"	320
10	Corte	Sierra cinta	-----	-----
11	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
12	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
13	Refrentado	Torno	Buril 1/4"	210
14	Desbaste	Cepillo	Buril 1/2"	80
15	Desbaste	Fresadora	Cortador 1/2"	210

Tabla 4.7 Hoja de proceso para fabricación de opresor de tubos para dados 19 mm..

CAPÍTULO 5.

Pruebas finales de doblado y análisis de resultados.

Teniendo habilitada la dobladora con sus aditamentos y dispositivos necesarios para doblar tubo utilizando todos los datos que se tenían disponibles, procedemos a hacer pruebas finales con tubería de diferentes diámetros, calibres y a diferentes ángulos de doblado.

5.1 Pruebas finales con tubería de 1/2".

Comenzamos utilizando tubería industrial redonda de 1/2" cal. 18. Esta tubería también es coloquialmente llamada tubería mofle, debido a la frecuente utilización de esta tubería en la industria automotriz.



Figura 5.1 Pruebas de curvado a 90° en tubería industrial de 1/2" cal. 18.

Como se muestra en la figura 5.1 los resultados del doblado a 90° en tubería industrial de 1/2" cal. 18 son muy buenos, el doblado no presenta ninguna irregularidad como pliegues en la garganta o un aplastado en el lomo sin la necesidad de utilizar un mandril.

La siguiente prueba es realizar un doblado a 180° con la misma tubería industrial de 1/2" cal. 18 como se muestra en la siguiente figura 5.2.



Figura 5.2 Pruebas de curvado a 180° en tubería industrial de 1/2" cal. 18 con dados 13 mm en dobladora.

En la figura 5.2 podemos observar que al realizar un doblado a 180° en esta tubería no tenemos ninguna deformación en la curva como un aplastamiento en el lomo o pliegues en la garganta a pesar de ser una curva bastante cerrada y sin requerir un mandril extra para el perfecto curvado.

Teniendo resultados favorables doblando tubería de 1/2" con los dados de 13 mm. pasamos a realizar pruebas con tubería industrial de 3/4" cal. 16 con los dados 19 mm.

5.2 Pruebas finales con tubería de 3/4".



Figura 5.3 Prueba de dobléz a 90° en tubería industrial de 3/4" cal. 16 con dados 19 mm.

Podemos observar en la figura 5.3 que el dobléz presenta un ligero aplanamiento en el lomo, pero no presenta pliegues en la garganta, esto es normal ya que no le insertamos un mandril y la pared del tubo tiene mayor grosor, aun así, el resultado es favorable.

La siguiente prueba es realizar un dobléz a 180° en esta misma tubería industrial de 3/4" cal. 16.



Figura 5.4 Prueba de curvado a 180° en tubería industrial de 3/4" cal. 16.

Podemos observar en la figura 5.4 que a pesar de ser una curva muy cerrada no se notan mayores desperfectos en la curvatura, solo un ligero aplanamiento en el lomo que es algo natural del doblado, sin embargo, procedemos a hacer una prueba rellenando el tubo con arena en lugar de un mandril, ya que al desplazar el eje neutro con la placa porta poleas no es posible la utilización de este tipo de aditamento.



Figura 5.5 Dobleza a 180° en tubería industrial de 3/4" cal. 16 con tubo relleno de arena.

Como podemos observar en la figura 5.5 rellenando el tubo con arena se obtiene un mejor resultado, ya que el aplanamiento del lomo es casi nulo y la curvatura se ve más uniforme.

En la siguiente figura podemos observar una comparación de un doblado a 180° de un tubo de 3/4" cal. 16 relleno con arena y uno relleno sin arena.



Figura 5.6 Comparación de doblado a 180° en tubería industrial de 3/4" cal. 16. A la izquierda uno relleno con arena y a la derecha uno sin relleno.

5.3 Fabricación de accesorios por medio del doblado de tubería.

Existe un sinnúmero de artículos que se pueden fabricar con este tipo de máquinas, para ejemplificar la utilidad que se le puede dar a la dobladora, fabricamos una silla plegable, la cual también puede ser tomada como práctica de doblado en laboratorio y se muestra en la siguiente figura 5.7.



Figura 5.7 Silla plegable fabricada con maquina dobladora de tubo en LIME II Manufactura.

Para la fabricación de la silla plegable utilizaremos los siguientes materiales:

- 7 m de tubería industria de 1/2" de diámetro cal. 16.
- 1.3 m de tubería industrial de 3/4" de diámetro cal. 16.
- 14 tonillos de 1/4" x 2" con tuercas de seguridad.
- 30 cm de solera de 1/2".
- 1 m de tela.
- Pintura de color a elegir.
- Barra de aluminio de 1/2"

Procedimiento:

Cortar y doblar los tubos con ayuda de la maquina dobladora con las siguientes especificaciones:

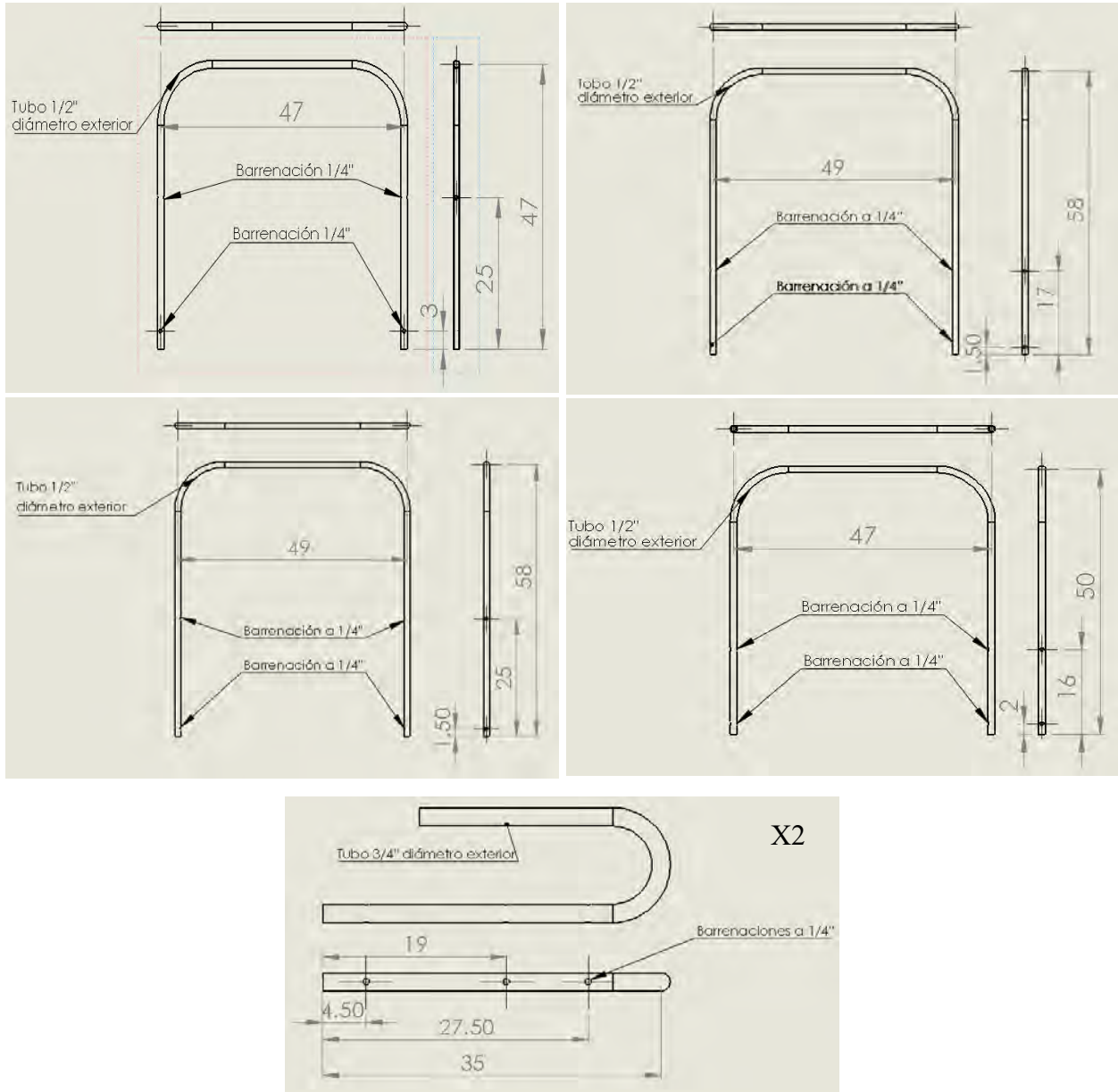


Figura 5.8 Especificaciones para el doblar de tubería utilizado en silla plegable.

Ahora cortamos un tubo de 1/2" de 65 cm y lo aplanamos 6 cm en cada extremo, este nos servirá para unir el respaldo con el asiento de forma que se puedan plegar, barrenamos a la misma altura y doblamos la mitad a 90°.

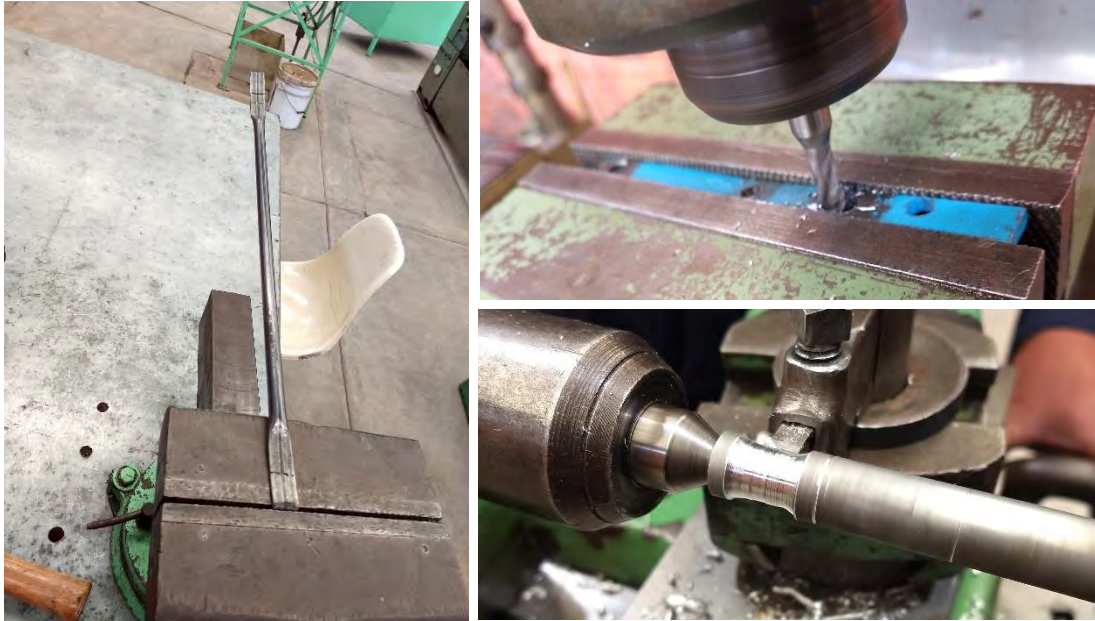


Figura 5.9 Tubo aplanado en sus extremos y maquinado de apoyos y correderas.

Teniendo listos los tubos con las especificaciones anteriores, Procedemos a maquinar un par de apoyos de aluminio y unas correderas con la solera para que el tubo de la silla se recargue ahí, sirviendo como tope y a la vez como guía al plegarse.

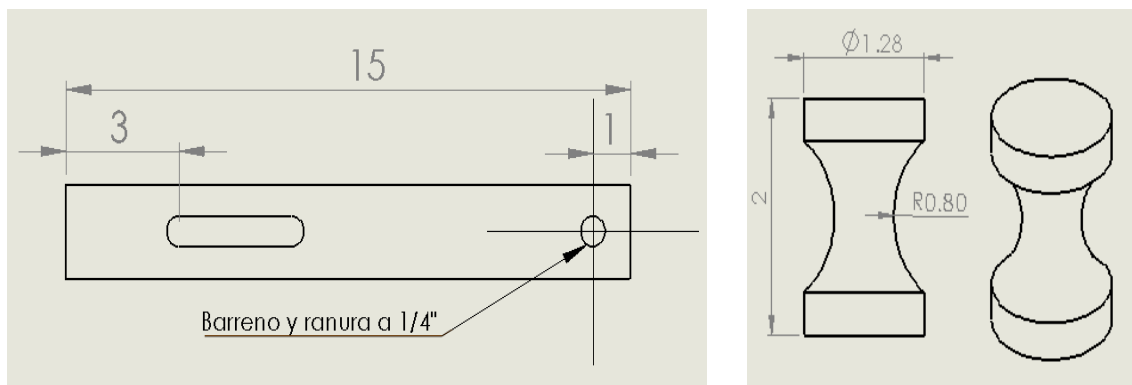


Figura 5.10 Especificaciones de corredera y apoyos de aluminio.

Con todas las piezas listas lo único que falta es cortar tela y coserla a la distancia más cómoda entre el respaldo y el asiento para proceder al armado.

Para darle un poco más de estética, cerramos más el tubo de la curva de 180° con ayuda de la prensa de banco, pintamos los demás tubos y procedemos a armar la silla.



Figura 5.11 Preparación de piezas para armar la silla y el resultado final.

Aparte de la silla también fabricamos un pequeño banco plegable mucho más sencillo en su estructura, pero esto es solo para demostrar la gran variedad de artículos que se pueden manufacturar en el laboratorio con esta dobladora de tubos.



Figura 5.12 Banco plegable elaborado con la dobladora de tubos en LIME II Manufactura.

Además de fabricar artículos o utensilios de este tipo, también podemos fabricar refacciones de piezas ya creadas y que están rotas o en mal estado, se nos presentó el caso de una podadora la cual se le rompió un tubo para poder deslizarla.

Tomamos las medidas de la pieza original y utilizando tubería industrial de 3/4" cal. 16 que nos sobro de las pruebas realizadas anteriormente realizamos una réplica.

Se midió la pieza original y se hizo un corte a la medida requerida y posteriormente se realizó el doblado del tubo en la maquina dobladora habilitada, para después aplanar sus extremos y realizar las perforaciones en el taladro con los barrenos pertinentes de la pieza.



Figura 5.13 Doble y perforaciones para refacción de podadora.

Haciendo todo lo anterior tenemos lista la refacción para la podadora y suplir la pieza rota por una nueva con una mejor calidad.



Figura 5.14 Reposición de tubo roto para podadora, refacción elaborada en LIME II Manufactura con la dobladora de tubos recién habilitada.

Para finalizar el proceso de la habilitación de la dobladora de tubos de LIME II Manufactura, se le procede a dar un baño de pintura ya que la maquina presenta mucho oxido y la pintura en muy mal estado, para ello se desarmo por completo todos los componentes para lijar, quitar todo el óxido y pintura maltratada.



Figura 5.15 Desarmado de componentes de dobladora y remoción de óxido y pintura maltratada.

Ya con la maquina lijada y desengrasada se le aplicaron dos capas de primer gris.



Figura 5.16 Aplicación de primer gris a dobladora de tubos.

Dejando secar lo suficiente, se aplican varias capas de una pintura industrial con acabado mate para evitar cualquier tipo de reflejo con la que quedara lista la dobladora. Esta pintura final fue aplicada con pistola de aire y compresor, pintándose cada pieza por separado.



Figura 5.17 Aplicación de baño de pintura a cada parte de la maquina dobladora.

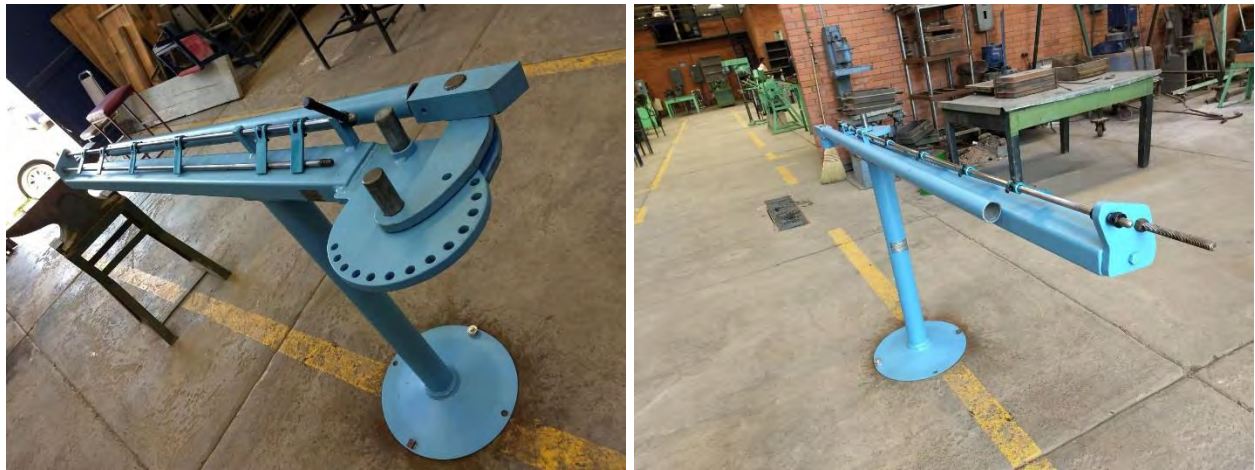


Figura 5.18 Maquina dobladora de tubos después del baño de pintura con acabado mate.

Dando por finalizado el proceso de habilitación de la maquina dobladora de tubos, se mandaron hacer unos rótulos en vinil amarillo con el número de la máquina en el laboratorio, así como nombre de la escuela, la facultad y el laboratorio dando como resultado la siguiente figura número 5.19.



Figura 5.19 Se muestra la dobladora de tubos restaurada en su totalidad.

CONCLUSIONES

El doblado de tubería es un proceso de conformado muy utilizado y de gran utilidad, así que al tener habilitada la máquina dobladora de tubos del LIME II Manufactura podemos ampliar el horizonte de los demás estudiantes hacia los diferentes procesos de conformado, el diseño y la fabricación de diferentes artículos y la versatilidad que pueden llegar a manejar

En todos lados se utiliza la tubería, y a cualquier lado que mires es muy probable que veas la aplicación de este proceso de manufactura como en los puentes, en instalaciones eléctricas, de agua, gas, etc. aplicaciones arquitectónicas y de decoración, pero sobre todo en la manufactura de estructuras para muebles, accesorios y utensilios.

Logramos la habilitación de la dobladora para 3 diferentes diámetros externos de tubo, obteniendo nuestros resultados a partir de la prueba y el error, varias de nuestras pruebas no dieron resultados positivos al principio, pero sobre la marcha se fueron corrigiendo errores para que al final los resultados obtenidos fueran satisfactorios con un excelente doblado de tubo. Al ir avanzando en el proyecto y con la experiencia obtenida de las pruebas anteriores nos fue de gran ayuda para hacer las cosas más fáciles en la fabricación de dispositivos elaborados posteriormente.

La versatilidad de la máquina es muy amplia, hasta donde la imaginación y la innovación que cada persona pueda aportar. Nosotros solo adaptamos una pequeña porción de las cosas que se pueden elaborar con esta dobladora, pero esta máquina puede adaptarse para doblar diferentes diámetros de tubo y esto se puede llevar a cabo fabricando más dados o aditamentos y no solo para tubería redonda, sino también para tubería cuadrada y diferentes radios de curvatura ya sean más grandes o más pequeños.

Esperando que las nuevas generaciones puedan valorar el trabajo realizado y le den un uso adecuado para completar su formación académica en teoría y prácticas de laboratorio.

Recomendaciones

Hay dos importantes recomendaciones para trabajar con los juegos de dados que se tienen hasta el momento:

1. Se recomienda utilizar tubería Industrial para estructuras de muebles, sillas, mesas, etc. Solo calcular el calibre de la tubería a utilizar para que soporte los esfuerzos del diseño original.
2. Es importante mantener una buena lubricación en los dados y el tubo, para que la tracción no genere esfuerzos innecesarios y se pueda ejercer un buen doblado de tubo.

Finalmente cumplimos el objetivo de este proyecto de tesis, quedando con una gran satisfacción, ya que las futuras generaciones podrán desarrollar más prácticas de laboratorio en conformado de materiales y así obtener un poco más de conocimientos y experiencia en su formación académica.

Bibliografía

- [1] Lawrence E. Doyle, Carl A. Keyser, James L. Leach, George F. Scharader, Morse B. Singer, Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, 3ª Ed., Editorial Prentice Hall, 2001.
- [2] <http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/dobladoras-de-cano-o-tubo>
- [3] <https://maquinariaindustrialblog.wordpress.com/2017/11/25/tipos-de-maquinas-dobladoras-de-tubos/>
- [4] S. Kalpakjian, S. R. Schmid. Manufactura, ingeniería y tecnología, México, Editorial Pearson, Quinta edición, 2008.
- [5] Amstead B. H., Procesos de manufactura, versión SI, México, grupo Editorial Patria, 2007.
- [6] Mott, Robert L., Resistencia de Materiales, 5ª ed. México, Editorial PearsonPrentice Hall, 2009.
- [7] J. M. Montes, F. G. Cuevas, J. Cintas. Ciencia e ingeniería de los Materiales.
- [8] John A. Schey, Procesos de Manufactura, México, 3ª Ed., Editorial Mc Graw Hill, México, 2007
- [9] J. M. Montes, F. G. Cuevas, J. Cintas. Ciencia e ingeniería de los Materiales.
- [10] S. Villanueva, J. Ramos, Manual de métodos de fabricación metalmecánica, México, 4 edición, 1994.
- [11] Mikell P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna (Materiales, Procesos y Sistemas), Tercera Edición. México, Editorial Mc Graw Hill, 2007.
- [12] Donald R. Kibbey, Harry D. Moore. Manual del ingeniero mecánico, Editorial Limusa, 1990.
- [13] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, Diseño en ingeniería Mecánica, 8va Edición, Editorial McGrawHill, 2008.
- [14] <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Doblez>

Anexos

Especificaciones de tubería Industrial

Diámetro Exterior (D)		Calibre t	Peso Teórico	
mm.	Pulgadas		Kg. / m	Kg. / 6m
12.7	1/2"	16	0.486	2.914
		18	0.380	2.280
		20	0.294	1.764
15.875	5/8"	14	0.715	4.290
		16	0.600	3.600
		18	0.488	2.928
		20	0.383	2.298
19.05	3/4"	14	0.870	5.220
		16	0.725	4.350
		18	0.593	3.558
		20	0.452	2.712
20.64	13/16"	14	0.960	5.760
		16	0.785	4.710
		18	0.625	3.750
		20	0.504	3.024
22.22	7/8"	14	1.020	6.120
		16	0.830	4.980
		18	0.683	4.098
		20	0.525	3.150
23.8	15/16"	14	1.120	6.720
		16	0.895	5.370
		18	0.735	4.410
		20	0.560	3.360
25.4	1"	14	1.170	7.020
		16	0.960	5.760
		18	0.789	4.734
		20	0.600	3.600
28.57	1 1/8"	14	1.330	7.980
		16	1.071	6.426
		18	0.880	5.280
		20	0.672	4.032
31.75	1 1/4"	14	1.510	9.120
		16	1.210	7.296
		18	0.978	5.868
		20	0.756	4.536
33.4	1.315"	14	1.575	9.450
		16	1.260	7.560
		18	1.030	6.180
		20	0.790	4.740
34.92	1 3/8"	13	1.930	11.500
		14	1.640	9.840
		16	1.330	7.980
		18	1.070	6.420
		20	0.810	4.860
		22	0.686	4.116
38.10	1 1/2"	14	1.827	10.962
		16	1.450	8.700
		18	1.190	7.140
		20	0.903	5.418
41.3	1 5/8"	14	1.980	11.880
		16	1.584	9.504
		18	1.267	7.602
		20	0.950	5.700

42.16	1.660"	14	2.050	12.300
		16	1.670	10.020
		18	1.325	7.950
		20	1.010	6.060
44.45	1 3/4"	14	2.130	12.780
		16	1.703	10.218
		18	1.396	8.376
		20	1.070	6.420
47.62	1 7/8"	14	2.282	13.692
		16	1.826	10.956
		18	1.461	8.766
		20	1.095	6.570
48.26	1.900 "	14	2.135	12.810
		16	1.720	10.320
		18	1.400	8.400
		20	1.160	6.960
50.8	2"	14	2.480	14.880
		16	1.985	11.910
		18	1.620	9.720
		20	1.234	7.404
57.1	2 1/4"	14	2.814	16.884
		16	2.205	13.230
		18	1.752	10.512
		20	1.344	8.064
60.4	2 3/8"	14	2.864	17.184
		16	2.330	13.980
		18	1.890	11.340
		20	1.407	8.442
63.5	2 1/2"	14	3.100	18.600
		16	2.490	14.940
		18	2.021	12.120
73.03	2 7/8"	14	3.520	21.120
		16	2.835	17.010
		18	2.320	13.920
76.2	3"	14	3.710	22.260
		16	2.960	17.760
		18	2.420	14.520
88.9	3 1/2"	14	4.370	26.220
		16	3.490	20.940
		18	2.850	17.100
101.6	4"	14	4.850	29.100
		16	3.960	23.760
		18	3.185	19.110