

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología**  
**Unidad Valle de las Palmas**



**“Diseño y Manufactura de un Prototipo de Máquina Dobladora de  
Eslabones de Cadena”**

**TESIS**

**Para obtener el título de:  
Ingeniera mecánica**

**Presenta:**

**Hernández Ramírez María Selene**

**Director de Tesis:**

**Dr. Benjamín González Vizcarra**

**Tijuana, Baja california**

**Junio, 2023**

## Dedicatoria

*Quiero dedicar este trabajo a mi madre María del pilar Ramírez Alemán, que me apporto todo lo que necesité, gracias por tu esfuerzo y sacrificio, quiero agradecerte la oportunidad que me brindaste para alcanzar mis metas incondicionalmente, aunque hemos pasado por momentos difíciles siempre agradeceré tu comprensión, amor y cariño. Gracias por tu dedicación y por impulsar mis sueños y esperanzas.*

*A mi hermana mayor Jacqueline Hernández Ramírez, por ser un símbolo de inspiración y por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento, te amo demasiado.*

*A mis pequeñas hermanas Dulce Denisse Hernández Ramírez y Vianey Alexandra Ramírez alemán, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, las amo.*

*A mis futuros hijos, que serán una muestra de las decisiones más importantes de mi vida, ellos serán el reflejo de mi crecimiento personal y emocional, los amo y los amaré, sin importar el tiempo o la distancia.*

*“La vida es impredecible y tal vez muy pocos creen que son capaces de vivir, se requiere de fuerza y voluntad para lograr mirar las estrellas en la más profunda oscuridad, el tiempo corre muy rápido y los años avanzan con mucha velocidad, el misterio de la vida crece, pero la clave permanece en congruencia con los pensamientos, aquellos que se abordan desde nuevos horizontes, fieles pasajeros de la vida, son como estaciones y ciclos vagando en un mundo incierto, pero incluso en el más insondable desierto se puede suscitar la esperanza, puesto que todo invierno tiene una primavera por despertar, la vida es como el universo extenso e indescifrable”.*

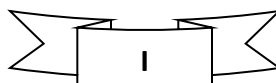
*María Selene Hernández Ramírez*

*“Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido”.*

*Theodore Van Karman*

*“Los mejores pensamientos han nacido en la soledad. Los peores, en la agitación”.*

*Thomas A. Edison*



## Agradecimientos

Quiero agradecer al Cuerpo Académico por ayudarme durante el desarrollo de este proyecto y compartirme cada uno de sus aprendizajes, la vida es una evolución constante de conocimientos y para poder transformarlos necesitamos explorar e innovar.

Quiero agradecer a la UABC por haberme brindado la oportunidad de obtener los conocimientos necesarios para mi formación académica.

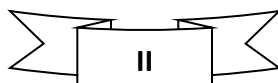
Quiero agradecer a mi tutor el Dr. Alberto Delgado Hernández, por su paciencia y constancia, muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, cuando más las necesite; por estar ahí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas. Usted formó parte importante de este trabajo, simplemente gracias por ser una persona digna de admirar y preocuparse por sus alumnos.

Quiero agradecer al M. Ed. Miguel A. Ávila Puc, por brindarme toda la ayuda posible y compartir sus conocimientos y experiencias para el desarrollo de este proyecto, quiero reconocer su dedicación y agradecer su influencia positiva en el aprendizaje.

Quiero agradecer al M. C. José Navarro Torres, por sus comentarios al revisar esta tesis, por compartir su conocimiento y por ser un ejemplo de dedicación, gracias por brindar su experiencia y siempre estar al pendiente de sus alumnos.

Finalmente, quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Benjamín González Vizcarra, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, sus virtudes, su paciencia, constancia, enseñanza y colaboración, permitió el desarrollo de este trabajo, usted formó parte importante de este trabajo con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, me siento muy orgullosa de haberlo elegido como mi mentor y asesor de tesis, le dedico a usted este logro que representa un momento muy importante en mi vida.

“Gracias por ser quien es y por creer en mí”



## ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRAC.....	2
Impacto científico.....	6
Tecnológico.....	6
Ambiental.....	6
Social.....	6
Económico.....	7
Objetivo específico.....	8
1.1 ANTECEDENTES.....	11
1.1.1 ¿Qué es la manufactura?.....	11
1.1.2 Los procesos de manufactura.....	12
1.1.3 Proceso de fundición.....	13
1.1.4 Proceso de deformación.....	14
1.1.5 Laminado.....	17
1.1.6 Proceso de remoción de material.....	18
1.1.7 Torneado.....	18
1.1.8 Fresado.....	24
1.1.9 Taladrado.....	28
1.1.10 Herramienta de corte.....	30
1.1.11 Control Numérico Computarizado.....	32
1.1.12 Torno CNC.....	32
1.1.13 Fresadora CNC.....	33
1.1.14 Los materiales en la manufactura.....	33
1.1.15 Breve historia de la manufactura.....	35
1.1.16 ¿Qué es la ciencia e ingeniería de materiales?.....	36
1.1.17 Clasificación de los materiales.....	37
1.2 Metales y aleaciones.....	37
1.2.1 Metales.....	37
1.2.2 Metales Ferrosos.....	37
1.2.3 Metales No Ferrosos.....	39
1.2.4 Clasificación de metales no ferrosos.....	39
1.3 Cerámicas.....	40

1.4 Vidrios y Vidrios-Cerámicos .....	40
1.5 Polímeros .....	41
1.5.1 Los polímeros termoplásticos .....	41
1.5.2 Los polímeros termoestables.....	41
1.5.3 Los elastómeros.....	42
1.6 Semiconductores .....	42
1.7 Materiales compuestos .....	42
1.7.1 Dureza de los materiales compuestos .....	43
1.8 Clasificación funcional de los materiales .....	43
1.9 Clasificación de los materiales con base en la estructura.....	44
1.10 Acero .....	45
1.10.1 Propiedades del Acero .....	45
1.10.2 Procedimiento de obtención para el Acero .....	47
1.10.3 Aplicaciones del Acero .....	47
1.11 Acero AISI SAE 4140.....	47
1.11.1 Acero 4140 Características o aplicaciones .....	48
1.11.2 Normalizado .....	48
1.11.3 Recocido Esferoidal .....	48
1.11.4 Recocido completo.....	48
1.11.5 Templado.....	49
1.11.6 Forja .....	49
1.11.7 Soldadura .....	49
1.12 La historia del doblado o curvado de metales.....	49
1.13 Martinetes de forja.....	51
1.14 Troqueles de forjado .....	51
1.15 Prensas de forjado .....	51
1.16 Prensa .....	52
1.17 Clasificación de las Prensas .....	53
1.17.1 Prensas Mecánicas.....	53
1.17.2 Prensas Hidráulicas .....	53
1.17.3 Prensas para trabajos mixtos progresivos, Prensas múltiples (o de paso) .....	53
1.17.4 Prensas combinadas (de bloque) .....	54
1.17.5 Otras Clasificaciones de prensas .....	54

1.18 Operaciones que se pueden realizar en una prensa .....	54
1.18.1 Punzonado .....	55
1.18.2 Doblado.....	55
1.18.3 Extrusión .....	56
1.18.4 Forjado .....	57
1.19 Dobladoras .....	57
1.19.1 Historia de las máquinas dobladoras .....	57
1.19.3 ¿Qué es una máquina dobladora? .....	61
1.19.4 Tipos de máquina dobladora .....	61
1.19.5 Partes principales de la máquina dobladora .....	63
1.20 Las Cadenas .....	65
1.20.1 ¿Qué es una cadena? .....	65
1.20.2 Tipos de cadenas .....	65
1.20.3 Tipo de material para las cadenas.....	66
1.20.4 Usos típicos de la cadena .....	66
1.21 Eslabones .....	69
1.21.1 Tipos de eslabones .....	69
1.21.2 Par cinemático .....	69
1.21.3 Los partes pueden clasificarse de varios modos .....	69
1.22 Materiales para eslabones de cadenas .....	70
1.23 Herramientas computacionales (software) .....	70
1.23.1 SolidWorks .....	71
2.1 DISEÑO DE LA DOBLADORA DE ESLABONES DE CADENAS .....	74
2.2 Elementos que conforman a la dobladora de eslabones de cadenas.....	79
2.2.1 Base de la Dobladora .....	79
2.2.2 Cabezas de la Dobladora.....	80
2.2.3 Palancas de la Dobladora .....	81
2.2.4 Vástagos A .....	81
2.2.5 Vástagos B .....	82
3.1 PROCESO DE MANUFACTURA.....	85
3.2 ETAPA I: Diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena.....	86
3.2.1 Investigación.....	86
3.2.2 Producto.....	87

3.3 ETAPA II: Selección del proceso de manufactura y elección del material .....	87
3.3.1 Material.....	87
3.3.2 Procesos de remoción de material y Control numérico computarizado .....	87
3.4 ETAPA III: Dibujo del diseño en software 3D SolidWorks.....	87
3.4.1 Ensamble de piezas.....	88
3.5 Manufactura de piezas de la dobladora de eslabones de cadenas.....	88
3.5.1 Base de la Dobladora .....	88
3.5.2 Cabezas de la Dobladora.....	89
3.5.3 Palancas de la Dobladora .....	91
3.5.4 Vástagos A .....	92
3.5.5 Vástagos B .....	93
4.1 ENSAMBLE DE LA DOBLADORA DE ESLABONES DE CADENAS.....	98
4.2 Etapas de ensamble del prototipo de la dobladora de eslabones de cadena.....	99
4.2.1 Primera Etapa .....	99
4.2.2 Segunda Etapa .....	100
4.2.3 Tercera Etapa.....	101
5.1 CONCLUSIÓN .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Dos maneras de definir manufactura: a) como proceso técnico, y b) como proceso económico. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	11
Fig. 2: a) Molde abierto (izquierda) y b) molde cerrado(derecha). (Aronson, 2004) <sup>ii</sup> .....	14
Fig. 3: Forjado de troquel abierto. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	15
Fig. 4: Forjado de troquel impreso. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	16
Fig. 5: Forjado sin rebaba. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	17
Fig. 6: Procesos de laminado. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003) <sup>iv</sup> .....	18
Fig. 7: Torno convencional y sus partes. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	19
Fig. 8: Operaciones de maquinado. (Aronson, 2004) <sup>ii</sup> .....	22
Fig. 9: Fresado convencional. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	24
Fig. 10:a) Fresado periférico y b) Frontal respectivamente. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	25
Fig. 11: a) Fresado ascendente y b) Fresado descendente. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	26
Fig. 12: Tipos de fresado frontal. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	27
Fig. 13: Taladrado. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	29
Fig. 14: Tipos de operaciones en el taladrado. (Aronson, 2004) <sup>ii</sup> .....	30
Fig. 15:Herramienta de un solo filo. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	31
Fig. 16: Herramienta de múltiples filos. (Trent, 2000) <sup>vi</sup> .....	31
Fig. 17: Máquina de torno CNC. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	32
Fig. 18: Máquina de fresadora CNC. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	33
Fig. 19:Punzonado y perforado. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	55
Fig. 20: a) Doblado de lámina metálica a) En el doblado ocurre elongación a la tensión y a la compresión. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	56
Fig. 21. Máquina Dobladora. (Dobladora   AMADA MEXICO, s/f.).....	61
Fig. 22. Matriz de sujeción o troquel de corte. (Groover, 2007).....	64
Fig. 23: Piezas de la máquina dobladora de eslabones de cadena. ....	75
Fig. 24: Eslabón de Alambroón A36.....	76
Fig. 25: Vista isométrica de la dobladora de eslabones de cadenas.....	77
Fig. 26: a) Medidas de la dobladora. b) Vista isométrica de la dobladora. ....	78
Fig. 27: Base de la prensa se muestra su vista isométrica y medidas. ....	80
Fig. 28: Cabezas de la prensa se muestra su vista isométrica y dimensiones.....	80
Fig. 29: Palancas de la dobladora se muestra su vista isométrica y medidas.....	81
Fig. 30: Vástago A se muestra su vista isométrica y medidas.....	81
Fig. 31: Vástago B se muestra su vistas isométricas y medidas. ....	82
Fig. 32: Diseño en 3D de la dobladora de eslabones de cadena. ....	88
Fig. 33: A) Placa de Acero 4140. b) Corte de la placa en dos partes.....	89
Fig. 34: Proceso de corte en ángulo para las cabezas de acero 4140.....	90
Fig. 35: Manufactura de cabezas de la dobladora.....	91
Fig. 36: Procesos de remoción de material (Torneado, Fresado, Taladrado). ....	92
Fig. 37: Proceso de manufactura en el torno para los vástagos A. ....	93
Fig. 38: Proceso de manufactura en el torno para los vástagos B y ensamblado. ....	94
Fig. 39: Piezas de la máquina dobladora de eslabones de cadena. ....	98

Fig. 40: Vista isométrica de la dobladora de eslabones de cadenas.....	99
Fig. 41: Ensamble de los vástagos A en la base de la Dobladora.....	100
Fig. 42: Ensamble de los vástagos B en las cabezas de la dobladora.....	101
Fig. 43: Ensamble de las palancas en las cabezas de la dobladora. ....	102
Fig. 44. A) Prototipo de dobladora en SolidWorks, B) Prototipo de la Máquina Dobladora de eslabones de cadena.....	103

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Clasificación de los procesos de manufactura. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	12
Diagrama 2: Clasificación de los procesos de solidificación. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	13
Diagrama 3: Metodología del proceso de diseño y manufactura.....	86

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Ecuaciones para determinar las condiciones de corte en el torneado (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	20
Tabla 2 Velocidades de corte para torno en pie y metro por minuto (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	23
Tabla 3 Avances para diversos materiales (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	23
Tabla 4 Tabla comparativa de las velocidades (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	28
Tabla 5 Propiedades de los materiales y aplicaciones (Askeland, 1998) <sup>viii</sup> .....	34
Tabla 6 Dureza de cerámicas seleccionadas y otros materiales duros, listados en orden ascendente de dureza. (Groover, 2007) <sup>i</sup> .....	43
Tabla 7 Tratamientos y Propiedades mecánicas de aceros seleccionados. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003) <sup>iv</sup> .....	46
Tabla 8 Ficha técnica 1, acero 4140 composición química. (Mundial, M, 2019) <sup>xvii</sup>	48
Tabla 9 Límites de carga de trabajo de la cadena (lbs) (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021) <sup>xxiv</sup> .....	69
Tabla 10 Dimensiones de las piezas del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena. ....	79

## RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo diseñar y manufacturar un prototipo de máquina dobladora de alambón para eslabones de cadena, en el que se apliquen los conocimientos adquiridos de diseño, elementos de máquina y manufactura, con los cuales se identificarán y determinaran los elementos mecánicos apropiados para el prototipo, como resultado se obtuvo un prototipo de 9 elementos que se encuentran conformados por 1 base, 2 cabezas, 2 palancas, 2 vástagos A y 2 vástagos B, estos elementos fueron diseñados con base al material, resistencia mecánica y tolerancias dimensionales, el prototipo permitió manufacturar eslabones de una cadena a partir de un alambón de 6.35 mm. Esté trabajo describe los principales parámetros de diseño y manufactura de una máquina dobladora para eslabones de cadena.

Con base a la metodología de trabajo se determinó el diseño y el proceso de manufactura de un prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, la metodología experimental utilizada para fabricar el prototipo se dividió en tres etapas principales, las cuales a su vez cuentan con subdivisiones, la primera etapa corresponde al diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena. Las operaciones requeridas para llevar a cabo la manufactura son el careado, refrentado, cilindrado, se trabajó con máquinas como el torno, la fresadora, sierra cinta eléctrica y fresadora CNC.

El material ideal para el prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadenas es el acero 4140 es un material resistente, es un acero de baja aleación de la serie Cr-Mo, con templabilidad, buena tenacidad y sus propiedades lo hacen un material con varias utilidades, el prototipo se diseñó y analizó con ayuda del software SolidWorks, como trabajos futuros de esta investigación se pretende modificar las dimensiones del prototipo para poder obtener el cierre más preciso de los eslabones de cadena.

## ABSTRAC

The objective of the following work is to design and manufacture a prototype of a wire rod bending machine for chain links, in which the acquired knowledge of design, machine elements and manufacturing are applied, with which the appropriate mechanical elements will be identified and determined for the prototype, as a result a prototype of 9 elements was obtained, which are made up of 1 base, 2 heads, 2 levers, 2 rods A and 2 rods B, these elements were designed based on the material, mechanical resistance and dimensional tolerances, the prototype made it possible to manufacture links of a chain from a 6.35 mm wire rod. This work describes the main design and manufacturing parameters of a chain link bending machine.

Based on the work methodology, the design and manufacturing process of a chain link bending machine prototype was determined. The experimental methodology used for the manufacture of the prototype was divided into three main stages, which in turn have subdivisions: The first stage corresponds to the design and manufacture of the link bending machine. The operations necessary to carry out manufacturing are facing, facing, turning, working with machines such as lathe, milling machine, electric band saw and CNC milling machine.

The ideal material for the prototype of the chain link bending machine is 4140 steels. It is a resistant material, it is a low alloy steel of the Cr-Mo series, with hardenability, good toughness and its properties make it a material with various utilities, the prototype was designed and analyzed with the help of SolidWorks software, as a future The work of this research aims to modify the dimensions of the prototype to obtain the most precise closure of the chain links.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual el diseño y la manufactura se encuentran en constante evolución para lograr adaptarse a las demandas crecientes de la sociedad, como ingenieros somos una de las principales fuentes de innovación en la tecnología, puesto que nuestras ideas permiten el crecimiento y desarrollo que impulsa la realización de nuevas máquinas o productos, tiene como objetivo lograr una reestructuración en el diseño ya existente permitiendo mejorar las funciones y generando nuevas herramientas para distintos procesos en la industria.

La manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos; la manufactura también incluye el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las del ensamblado, la operación del proceso hace que un material de trabajo pase de un estado de acabado a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se desea. Se agrega valor cambiando la geometría, las propiedades o la apariencia del material de inicio. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las del ensamblado. Una operación del proceso hace que un material de trabajo pase de un estado de acabado a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se desea. Se agrega valor cambiando la geometría, las propiedades o la apariencia del material de inicio. En general, las operaciones del proceso se ejecutan sobre partes discretas del trabajo, pero algunas también son aplicables a artículos ensamblados. La fundición es un proceso en el que metal derretido fluye por gravedad u otra fuerza hacia un molde en el que se solidifica con la forma de la cavidad de este. El término fundición también se aplica al objeto que se fabrica por medio de este proceso. Es uno de los procesos más antiguos de conformación. (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>

El forjado es un proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos troqueles, usando impacto o presión gradual para formar la pieza. En la actualidad el forjado es un proceso industrial importante mediante el cual se hace una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones. Estos componentes incluyen cigüeñales y bielas para motores de combustión interna, engranes, componentes estructurales para aviación y piezas para turbinas y motores de propulsión. (Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser & A., 2003)<sup>iii</sup>

Los procesos de remoción de material son operaciones que retiran el exceso de material de la pieza de trabajo con que se inicia, de modo que la forma que resulta tiene la geometría buscada. Los procesos más importantes de esta categoría son las operaciones de maquinado tales como torneado, perforado y fresado, siendo el maquinado el proceso de manufactura más importante. Estas operaciones de corte se aplican más comúnmente a metales sólidos, y se llevan a cabo con el empleo de herramientas de corte más duras y fuertes que el metal de trabajo. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>

La ingeniería está rodeada por conocimientos fascinantes que se pueden aplicar analizando rigurosamente los problemas con base en la investigación podemos determinar una solución basada en la aplicación del conocimiento científico, los ingenieros tenemos la capacidad de lograr aplicar los conocimientos científicos de manera sistemática para hacer emerger desde las profundidades del subconsciente nuevas creaciones para poder plasmarlas en la realidad o lograr la evolución de ideas ya existentes. Para lograr transformar las materias primas en productos se requieren procesos de diseño y manufactura que permita plantear las necesidades de trabajo, en la ingeniería mecánica se busca transformar y diseñar equipos mecánicos que puedan estar al servicio de las necesidades de la humanidad.

El siguiente trabajo presenta los primeros resultados del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena y muestra la metodología de realización del proceso de diseño y manufactura mientras correlaciona los antecedentes y parámetros en las propiedades mecánicas del material utilizado para la fabricación

del prototipo el acero 4140, se pretende utilizar el prototipo como sistema de aprendizaje y como producto se realizaron cadenas de grado 30.

## IMPACTOS

### **Impacto científico**

Los proyectos que se basan en desarrollar sistemas de aprendizajes didácticos fortalecen los conocimientos de manera práctica, el trabajar con prototipos de diseño que pueden ensamblarse de manera sencilla y que cuentan con una alta resistencia mecánica, son los elementos que fomentan la curiosidad científica para poder evolucionar las ideas y mejorar los sistemas ya existentes. El acero 4140 utilizado en la actualidad por múltiples industrias en el ámbito ingenieril es un material confiable que se usa para poder desarrollar productos, este material puede diversificarse para sus aplicaciones ingenieriles.

### **Tecnológico**

Se propone la importancia de la metodología del proceso para lograr la manufactura de prototipo, permite destacar y analizar la importancia de la examinación de los materiales para el diseño de productos y conlleva a un enfoque de aprendizaje práctico donde se puede trabajar observando los elementos mecánicos.

### **Ambiental**

El uso de material resistente permite que el prototipo esté adaptado a las condiciones de trabajo, logrando incrementar su vida útil, además de poseer un ensamblado fácil y un diseño adaptable que lograría permitir realizar cambios sin gastar demasiados insumos de material, su estructura permite un uso más eficiente de los materiales y los procesos de manufactura no generan un gran consumo de fuentes energéticas, por lo tanto, podemos considerar una disminución de la contaminación emitida por la manufactura del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena.

### **Social**

Con el uso del prototipo de la dobladora de eslabones de cadena se mejorarán las condiciones de aprendizaje para los alumnos, permitiendo innovar ideas y diversificando su conocimiento, el prototipo está diseñado de una manera sencilla para permitir la mejor relación posible con el operador mientras que su diseño permite un análisis a los conocimientos básicos.

## **Económico**

El desarrollo organizado y el análisis de las condiciones para adaptar el prototipo permite incrementar su ciclo de vida útil y disminución de costos por mantenimiento en sus elementos mecánicos, los cuales son prácticos y fáciles de adaptar.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y manufacturar un prototipo de una máquina dobladora de eslabones de cadenas, en el que se apliquen los conocimientos adquiridos de diseño, elementos de máquina y manufactura, Como resultado se obtuvo un prototipo de 9 elementos que fueron diseñados con base al material, resistencia mecánica y tolerancias dimensionales.

## **Objetivo específico**

- ❖ Seleccionar y diseñar los elementos necesarios para crear los componentes de la dobladora.
- ❖ Analizar el material para la elaboración.
- ❖ Analizar los procesos de manufactura más factibles para la fabricación.
- ❖ Estructurar la dobladora verificando las necesidades manuales del operador.
- ❖ Utilizar un software que permita diseñar en 3D cada una de las piezas para manufacturar la dobladora de eslabones de cadena.
- ❖ Conocer los diferentes tipos de dobladoras y sus características.

## JUSTIFICACIÓN

Se diseñará y manufacturará un prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena con las características de un diseño óptimo y eficiente, se pretenden aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, permitiendo tener un mejor entendimiento de los procesos establecidos para deformar un material, la intervención en la realización de las cadenas de manera manual logra plasmar los conocimientos en el diseño y las propiedades del material además de permitir el desarrollo de habilidades más completas sobre la manufactura, la investigación resulta como un precursor para expandir el conocimiento, esta máquina tiene como finalidad ser un instrumento de aprendizaje.

Cabe señalar que las dobladoras son herramientas esenciales utilizadas desde los tiempos más antiguos permitiendo realizar diferentes tipos de trabajo y evolucionando constantemente con las nuevas tecnologías, el diseño seleccionado para la dobladora es sencillo y práctico, sin embargo, se deben analizar y determinar las fuerzas que se aplicaran para doblar el material y se determinará el proceso de manufactura que será el más eficiente para obtener cada una de las piezas que conformaran la dobladora; sin embargo, otro punto a considerar es el tipo de material que se empleara para construir la dobladora, puesto que el material es esencial para saber el tiempo de vida de un producto o las condiciones que puede soportar, al considerar el material podemos encontrar las ventajas y desventajas para diseñar y manufacturar una dobladora en las condiciones disponibles para el aprendizaje.

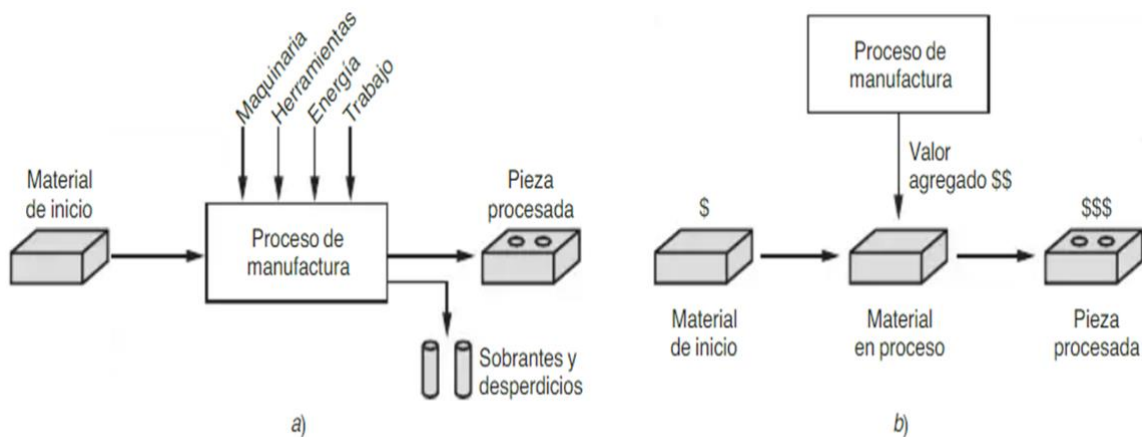
# **CAPÍTULO 1**

## 1.1 ANTECEDENTES

### 1.1.1 ¿Qué es la manufactura?

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (mano) y factus (hacer); la combinación de ambas significa hecho a mano. La palabra manufactura tiene varios siglos de antigüedad, y “hecho a mano” describe en forma adecuada los métodos manuales que se utilizaban cuando se acuñó la expresión. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

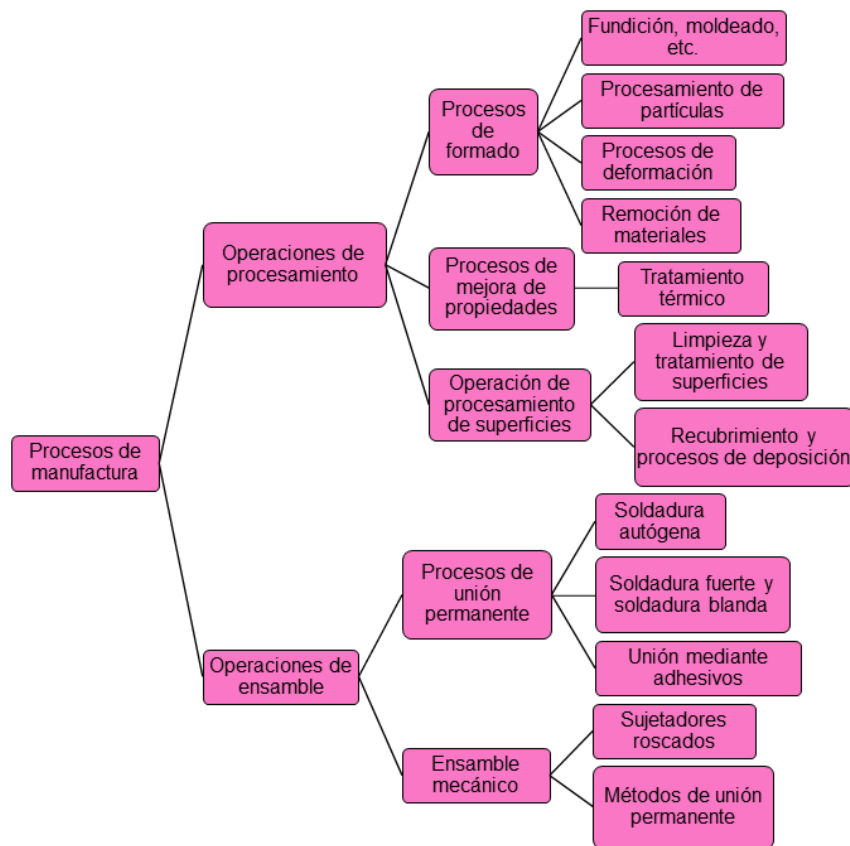
La manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos; la manufactura también incluye el ensamble de piezas múltiples para fabricar productos. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. Casi siempre, la manufactura se ejecuta como una secuencia de operaciones tal y como se muestra en la Fig. 1. Cada una de estas lleva al material más cerca del estado final que se desea. En el sentido económico, la manufactura es la transformación de los materiales en artículos de valor mayor por medio de uno o más operaciones de procesamiento o ensamblado. (Groover, 2007)<sup>i</sup>



**Fig. 1: Dos maneras de definir manufactura: a) como proceso técnico, y b) como proceso económico. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

## 1.1.2 Los procesos de manufactura

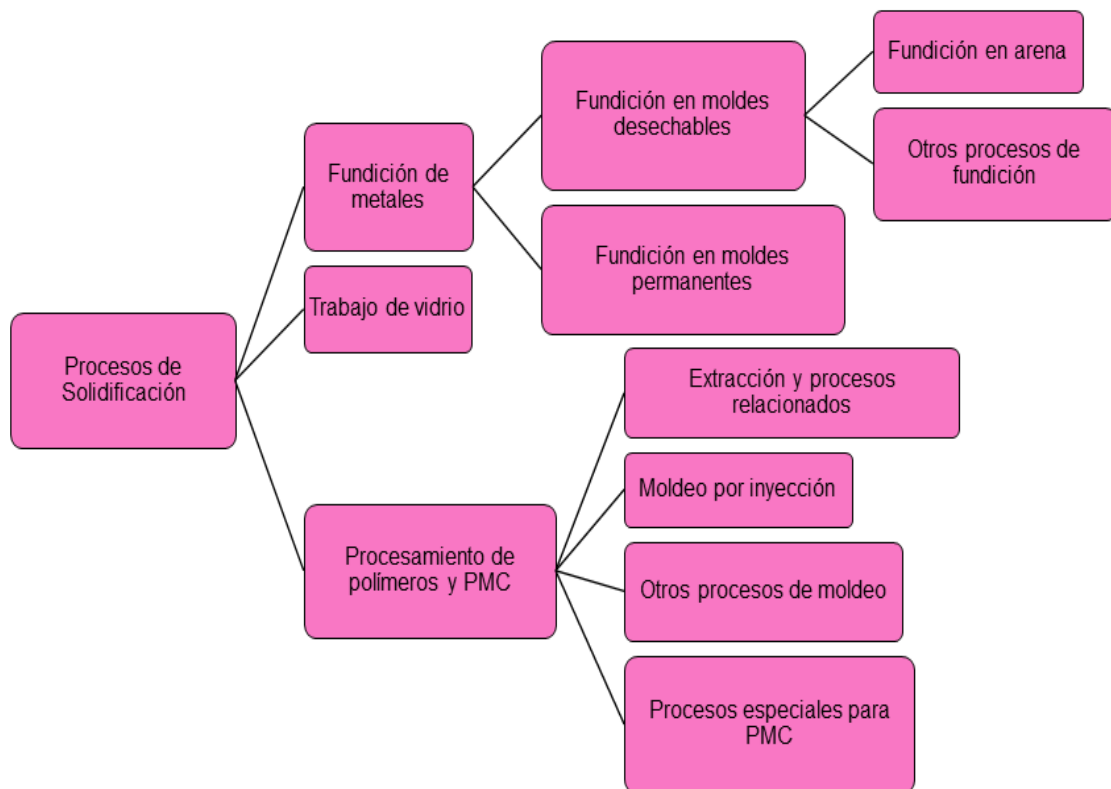
Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las del ensamblado, tal y como se muestra en el Diagrama 1. Una operación del proceso hace que un material de trabajo pase de un estado de acabado a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se desea. Se agrega valor cambiando la geometría, las propiedades o la apariencia del material de inicio. En general, las operaciones del proceso se ejecutan sobre partes discretas del trabajo, pero algunas también son aplicables a artículos ensamblados. Una operación de ensamblado une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, llamada ensamble, subensamble o algún otro término que se refiera al proceso de unión (por ejemplo, un ensamble soldado se denomina soldadura).



**Diagrama 1: Clasificación de los procesos de manufactura. (Groover, 2007)<sup>1</sup>**

### 1.1.3 Proceso de fundición

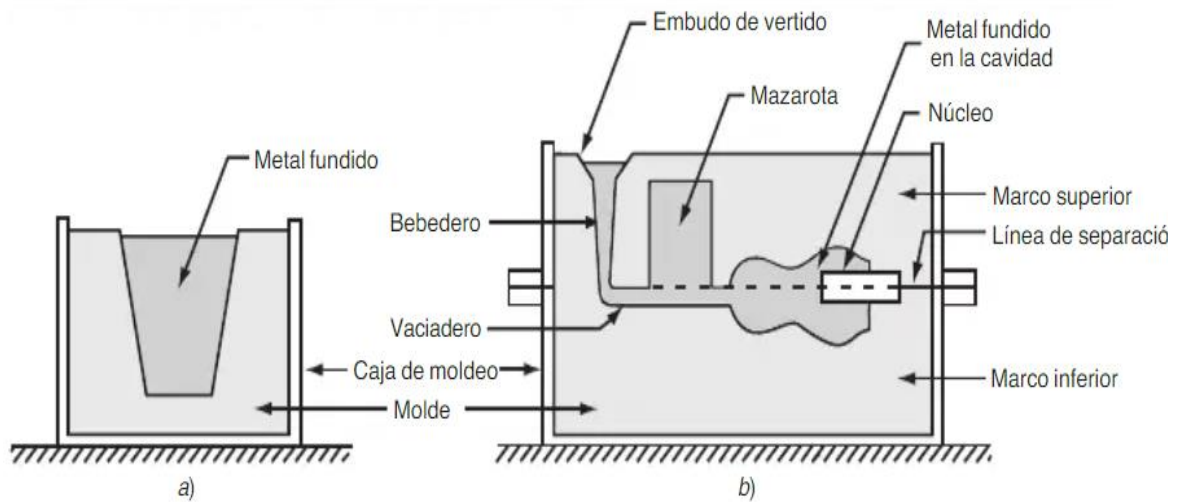
La fundición es un proceso en el que metal derretido fluye por gravedad u otra fuerza hacia un molde en el que se solidifica con la forma de la cavidad de este. El término fundición también se aplica al objeto que se fabrica por medio de este proceso. Es uno de los procesos más antiguos de conformación, pues se remonta a hace 6000 años, se puede observar en el Diagrama 2 la nota histórica. El principio de la fundición parece sencillo: se derrite metal, se vierte en un molde y se deja enfriar y solidificar; no obstante, hay muchos factores y variables que deben considerarse a fin de lograr una operación de fundido exitosa. (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>



**Diagrama 2: Clasificación de los procesos de solidificación. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

El molde contiene una cavidad cuya configuración geométrica determina la forma de la pieza fundida, existes 2 tipos de moldes tal y como se muestra en la Fig. 2 que son:

- ❖ En un molde abierto, donde el metal líquido simplemente se vierte hasta que llena la cavidad abierta tal y como se muestra en el inciso a). (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>
- ❖ En un molde cerrado, se adapta un pasaje denominado sistema de paso, que permite que el derretido fluya desde el exterior del molde hasta la cavidad. El molde cerrado es con mucho la categoría más importante de las operaciones productivas de fundición, tal y como se muestra en el inciso b). (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>



**Fig. 2: a) Molde abierto (izquierda) y b) molde cerrado(derecha). (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>**

## 1.1.4 Proceso de deformación

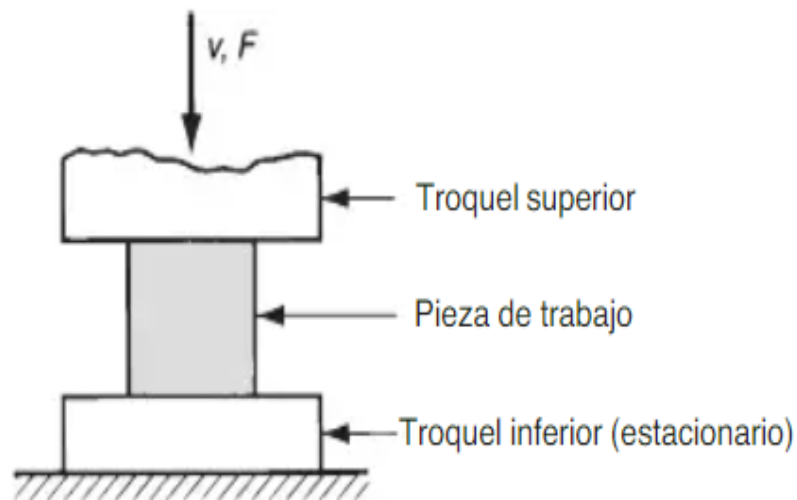
### 1.1.4.1 Forjado

El forjado es un proceso de deformación en el cual se comprime el material de trabajo entre dos troqueles, usando impacto o presión gradual para formar la pieza. Es la operación más antigua para formado de metales y se remonta quizá al año 5000 a.C. En la actualidad el forjado es un proceso industrial importante mediante el cual se hace una variedad de componentes de alta resistencia para automóviles, vehículos aeroespaciales y otras aplicaciones. Estos componentes incluyen cigüeñales y bielas para motores de combustión interna, engranes, componentes estructurales para aviación y piezas para turbinas y motores de propulsión. (Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser & A., 2003)<sup>iii</sup>

## 1.1.4.2 Hay tres tipos de operaciones de forjado:

### ❖ Forjado en troquel abierto.

El caso más simple de forjado en troquel abierto consiste en comprimir una pieza de sección cilíndrica entre dos troqueles planos, muy semejante a una prueba de la compresión, tal y como se muestra en la Fig. 3. Esta operación de forjado, conocida como recalado o forjado para recalcar, reduce la altura del trabajo e incrementa su diámetro. (Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser & A., 2003)<sup>iii</sup>



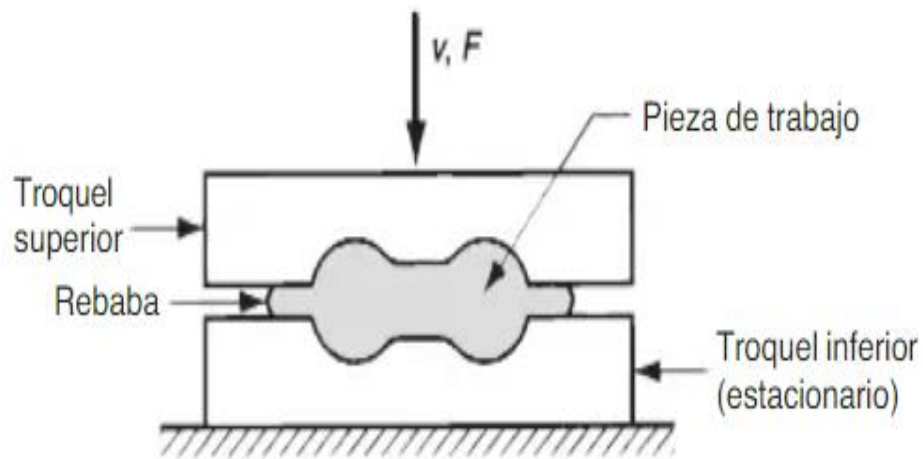
**Fig. 3: Forjado de troquel abierto. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

El forjado caliente en troquel abierto es un proceso industrial importante. Las formas generadas por operaciones en troquel abierto son simples, como flechas, discos y anillos. Los troqueles en algunas aplicaciones tienen superficies con ligeros contornos que ayudan a formar el material de trabajo. Además, debe manipularse frecuentemente (girándolo en cada paso, por ejemplo) para efectuar los cambios de forma requeridos. La habilidad del operador es un factor importante para el éxito de estas operaciones. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### ❖ Forjado en troquel impresor.

El forjado con troquel impresor, llamado algunas veces forjado en troquel cerrado, se realiza con troquel que tiene la forma inversa de la requerida para la pieza, tal y como se muestra en la Fig. 4. Con frecuencia se requieren varios pasos de formado en el forjado con troquel impresor para transformar la forma inicial en la forma final

deseada. Los pasos iniciales se diseñan para redistribuir el metal en la pieza de trabajo y conseguir así una deformación uniforme y la estructura metálica requerida en las etapas subsecuentes. Los últimos pasos le dan el acabado a la pieza final. (Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser & A., 2003)<sup>iii</sup>



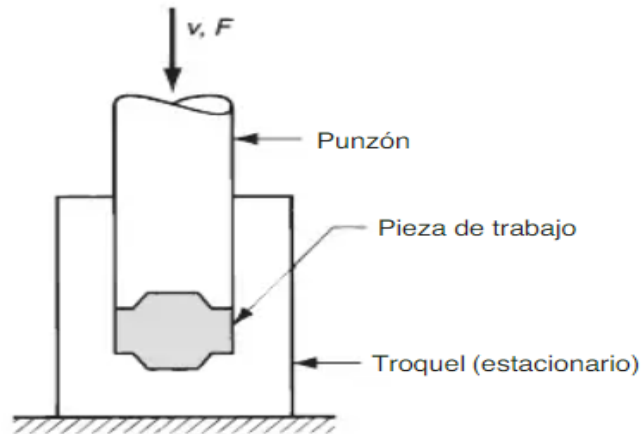
**Fig. 4: Forjado de troquel impreso. (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

Debido a la formación de rebaba en el forjado con troquel impreso y a las formas más complejas de las piezas hechas con estos troqueles, las fuerzas en este proceso son considerablemente más grandes y más difíciles de analizar que en el forjado en troquel abierto. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

#### ❖ Forjado sin rebaba

En la terminología industrial, el forjado con troquel impreso se llama algunas veces forjado en troquel cerrado. Para identificar este proceso es apropiado el término forjado sin rebaba. El forjado sin rebaba, tal y como se muestra en la Fig. 5 impone ciertos requerimientos sobre el control del proceso, más exigentes que el forjado con troquel impreso. Si la pieza en blanco inicial es demasiado grande, la presión excesiva puede causar daño al troquel o a la prensa. Si la pieza en blanco es demasiado pequeña, no se llenará la cavidad. Debido a este requerimiento especial, el proceso es más adecuado en la manufactura de piezas geométricas simples y simétricas, y para trabajar metales como el aluminio, el magnesio o sus aleaciones.

El forjado sin rebaba se clasifica frecuentemente como un proceso de forjado de precisión. (Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser & A., 2003)<sup>iii</sup>

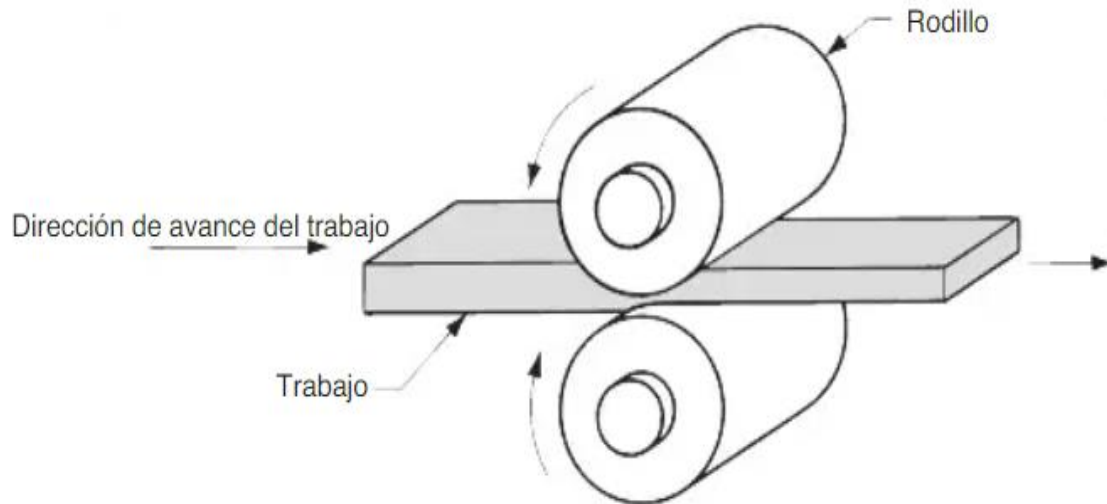


**Fig. 5: Forjado sin rebaba. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

Las fuerzas en el forjado sin rebaba alcanzan valores comparables a las del forjado con troquel impresor. El acuñado es una aplicación especial del forjado sin rebaba mediante el cual se imprimen los finos detalles del troquel en la superficie superior y en el fondo de la pieza de trabajo. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### **1.1.5 Laminado**

El laminado es un proceso de deformación en el cual el espesor del material de trabajo se reduce mediante fuerzas de compresión ejercidas por dos rodillos opuestos. Los rodillos giran, tal y como se muestra en la Fig. 6 para jalar del material del trabajo y simultáneamente apretarlo entre ellos. El proceso de laminado plano es básico, y se usa para reducir el espesor de una sección transversal rectangular. Un proceso estrechamente relacionado es el laminado de perfiles, en el cual una sección transversal cuadrada se transforma en un perfil. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>



**Fig. 6: Procesos de laminado. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>**

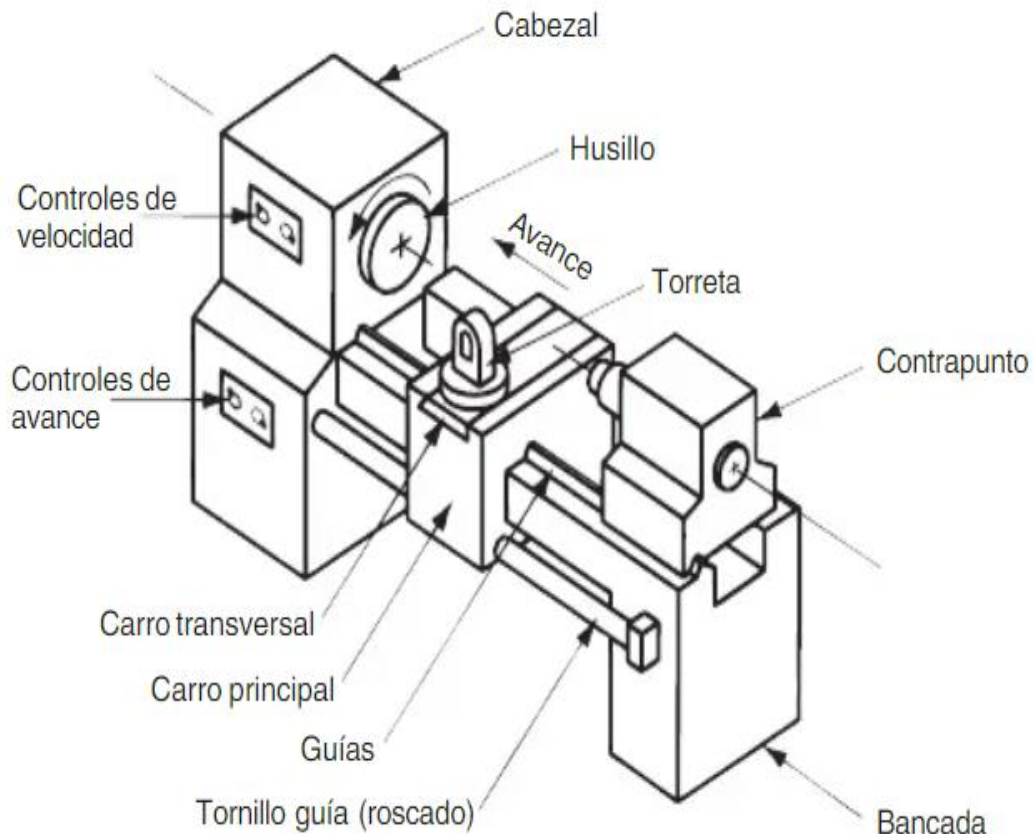
### 1.1.6 Proceso de remoción de material

Los procesos de remoción de material son operaciones que retiran el exceso de material de la pieza de trabajo con que se inicia, de modo que la forma que resulta tiene la geometría buscada. Los procesos más importantes de esta categoría son las operaciones de maquinado tales como torneado, perforado y fresado, siendo el maquinado el proceso de manufactura más importante. Estas operaciones de corte se aplican más comúnmente a metales sólidos, y se llevan a cabo con el empleo de herramientas de corte más duras y fuertes que el metal de trabajo. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>

### 1.1.7 Torneado

En el torneado se usa una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria para dar forma a un cilindro. El torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de una sola punta remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación; la herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación. El torneado se lleva a cabo tradicionalmente en una máquina herramienta llamada torno, la cual suministra la potencia para tornear la pieza a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta y profundidad de corte especificados. (“Maquinado de elementos”, 2016)<sup>v</sup>

El movimiento de velocidad del torneado lo proporciona la pieza de trabajo giratoria y el movimiento de avance lo realiza la herramienta de corte, moviéndose lentamente en una dirección paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo, tal y como se muestra en la Fig. 7. (Groover, 2007)<sup>i</sup>



**Fig. 7: Torno convencional y sus partes. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

### 1.1.7.1 Condiciones de corte en el torneado

Podemos observar las condiciones de corte para el torneado en la Tabla 1.

- ❖ Para poder obtener las RPM que se necesitan para las condiciones de torneado debemos utilizar la ecuación (1).
- ❖ La velocidad de rotación en el torneado se relaciona con la velocidad de corte requerida en la superficie cilíndrica de la pieza de trabajo por la ecuación (2).

- ❖ El avance en el torneado se expresa generalmente en mm/rev (in/rev). Este avance se puede convertir a velocidad de avance lineal en mm/min (in/min) mediante la ecuación (3).
- ❖ Donde  $T_m$  = tiempo de maquinado en min;  $L$  = longitud de la pieza cilíndrica en mm (in). Un cálculo más directo del tiempo de maquinado lo proporciona la ecuación (4).
- ❖ La velocidad volumétrica de remoción del material se puede determinar más convenientemente por la ecuación siguiente (5).

**Tabla 1 Ecuaciones para determinar las condiciones de corte en el torneado (Groover, 2007)**

RPM para torneado	$RPM = \frac{4 * V_C}{D} \quad (1)$
Velocidad de rotación	$N = \frac{v}{\pi D_0} \quad (2)$
Velocidad de avance	$f_r = Nf \quad (3)$
Tiempo de maquinado	$T_m = \frac{\pi D_0 L}{f v} \quad (4)$
Velocidad de remoción de material	$R_{MR} = v f d \quad (5)$

### 1.1.7.2 Métodos de sujeción del trabajo al torno

Se usan cuatro métodos comunes para sujetar las piezas de trabajo en el torneado, que a su vez consisten en varios mecanismos para sujetar el trabajo, centrarlo y mantenerlo en posición sobre el eje del husillo y hacerlo girar. Los métodos se conocen como: a) montura de trabajo entre centros, b) mandril, c) boquilla y d) plato de sujeción.

- ❖ La sujeción de trabajo entre centros se refiere al uso de dos centros, uno en el cabezal y el otro en el contrapunto.
- ❖ Los mandriles se pueden usar con o sin el centro del contrapunto. Para piezas con baja relación entre la longitud y el diámetro, la sujeción de la pieza al mandril

en forma empotrada (en voladizo) es por lo general suficiente para soportar las fuerzas de corte.

- ❖ Una boquilla consiste en un buje tubular con hendiduras longitudinales que corren sobre la mitad de su longitud e igualmente espaciadas alrededor de su circunferencia.
- ❖ Un plato de sujeción es un dispositivo para sujetar el trabajo que se fija al husillo del torno y se usa para sostener piezas con formas irregulares. Debido a su forma irregular, estas piezas no se pueden sostener por otros métodos de sujeción.

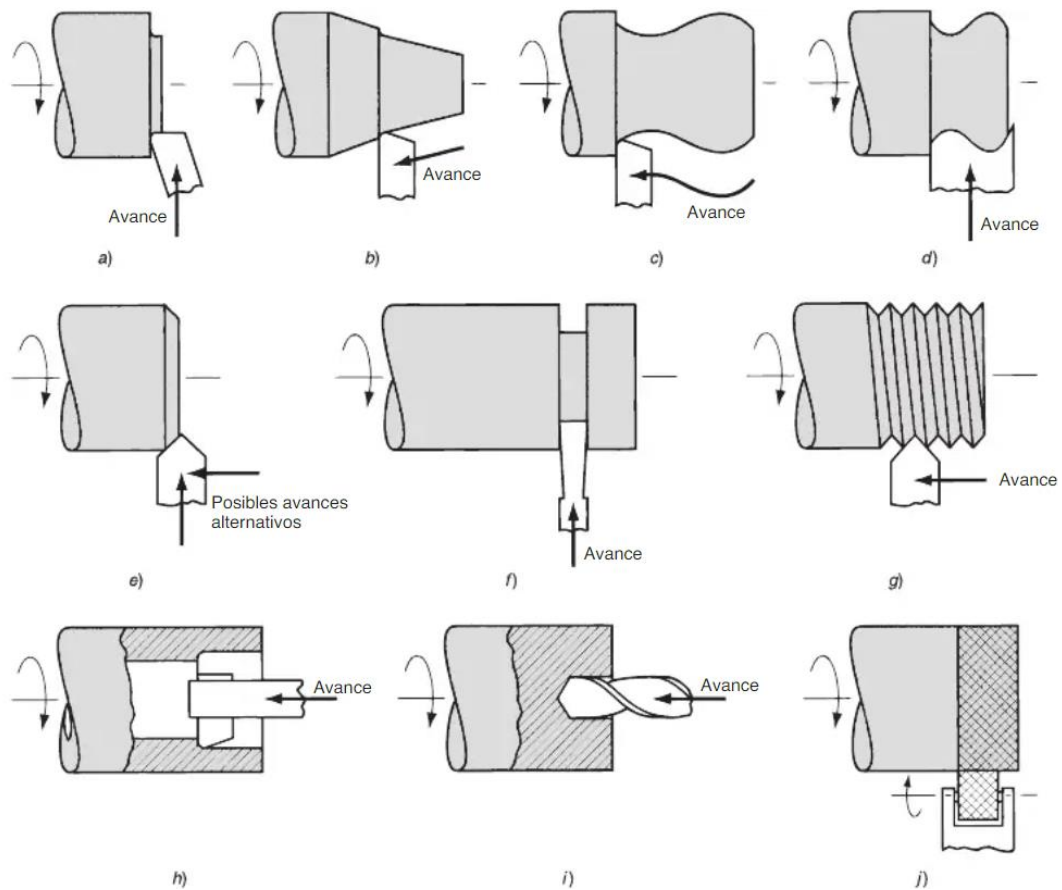
En el torneado se puede realizar una gran variedad de operaciones de maquinado en un torno, tal y como se muestra en la Fig. 8.

- a) Careado: La herramienta se alimenta radialmente sobre el extremo del trabajo rotatorio para crear una superficie plana.
- b) Torneado ahusado o cónico: En lugar de que la herramienta avance paralelamente al eje de rotación del trabajo, lo hace en cierto ángulo creando una forma cónica.
- c) Torneado de contornos: En lugar de que la herramienta avance a lo largo de una línea recta paralela al eje de rotación, como en torneado, sigue un contorno diferente a la línea recta, creando así una forma contorneada en la pieza torneada.
- d) Torneado de formas: En esta operación llamada algunas veces formado, la herramienta tiene una forma que se imparte al trabajo y se hunde radialmente dentro del trabajo.
- e) Achaflanado: El borde cortante de la herramienta se usa para cortar un ángulo en la esquina del cilindro y forma lo que se llama un “chaflan”.
- f) Tronzado: La herramienta avanza radialmente dentro del trabajo en rotación, en algún punto a lo largo de su longitud, para trozar el extremo de la pieza. A esta operación se le llama algunas veces partición.
- g) Roscado: Una herramienta puntiaguda avanza linealmente a través de la superficie externa de la pieza de trabajo en rotación y en dirección paralela al eje de rotación, a una velocidad de avance suficiente para crear cuerdas roscadas en el cilindro.

h) Perforado: Una herramienta de punta sencilla avanza en línea paralela al eje de rotación, sobre el diámetro interno de un agujero existente en la pieza.

i) Taladrado: El taladrado se puede ejecutar en un torno, haciendo avanzar la broca dentro del trabajo rotatorio a lo largo de su eje. El escariado se puede realizar en forma similar.

j) Moletado: Esta es una operación de maquinado porque no involucra corte de material. Es una operación de formado de metal que se usa para producir un rayado regular o un patrón en la superficie de trabajo. (Groover, 2007)<sup>i</sup>



**Fig. 8: Operaciones de maquinado. (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>**

En las operaciones de torneado se necesita saber las velocidades de corte para torno en pie y metro por minuto, utilizando una herramienta de acero de alta velocidad, se pueden observar en la Tabla 2 se representan las velocidades de corte

para torno en pie y metro por minuto, utilizando una herramienta de acero de alta velocidad.

**Tabla 2 Velocidades de corte para torno en pie y metro por minuto (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

Material	Torneado y Torneado de interiores					
	Corte de desbaste		Corte de acabado		Roscado	
	pie/min	m/min	pie/min	m/min	pie/min	m/min
Acero para maquinaria	90	27	100	30	35	11
Acero para herramienta	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

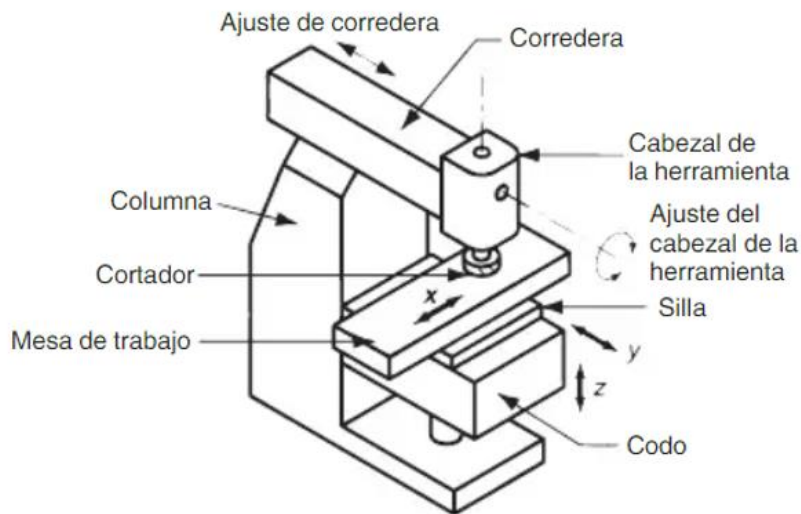
Cabe mencionar que es necesario conocer los avances para diversos materiales (con herramienta de corte de acero de alta velocidad) tal y como se muestra en la Tabla 3 se representan los avances para diversos materiales en pulgadas y milímetros.

**Tabla 3 Avances para diversos materiales (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

Material	Cortes de desbaste		Cortes de acabado	
	Pulg	mm	pulg	Mm
Acero para maquina	0.010 a 0.020	0.025 a 0.5	0.003 a 0.010	0.07 a 0.25
Acero para herramienta	0.010 a 0.020	0.25 a 0.5	0.003 a 0.010	0.07 a 0.25
Hierro fundido	0.015 a 0.025	0.4 a 0.65	0.005 a 0.012	0.13 a 0.3
Bronce	0.015 a 0.025	0.4 a 0.65	0.003 a 0.010	0.07 a 0.25
Aluminio	0.015 a 0.030	0.4 a 0.75	0.005 a 0.010	0.13 a 0.25

## 1.1.8 Fresado

El fresado es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una pieza de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes (en algunos casos raros se usa una herramienta con un solo filo cortante llamado fresa perfilada simple). El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance. La orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance es la característica que distingue al fresado del taladrado. La herramienta de corte en fresado se llama fresa o cortador para fresadora y los bordes cortantes se llaman dientes. Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción, el fresado es una de las operaciones de maquinado más versátiles y ampliamente usadas, tal y como se muestra en la Fig. 9. El fresado es una operación de corte interrumpido; los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución. Esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerza de impacto y choque térmico en cada rotación. El material de la herramienta y la forma del cortador deben diseñarse para soportar estas condiciones. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>



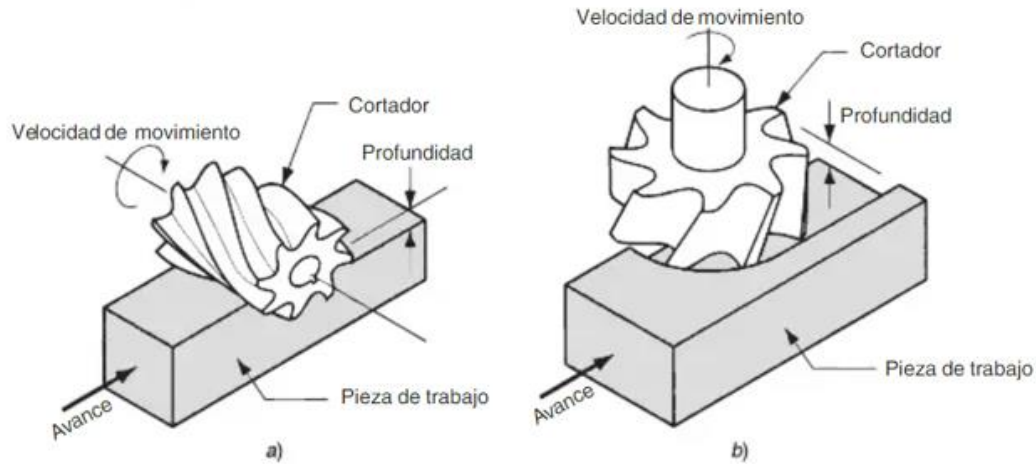
**Fig. 9: Fresado convencional. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

### 1.1.8.1 Tipos de operaciones en el fresado

Hay dos tipos básicos de operaciones de fresado, tal y como se muestra en la Fig. 10. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

- ❖ Fresado periférico.

❖ Fresado frontal.



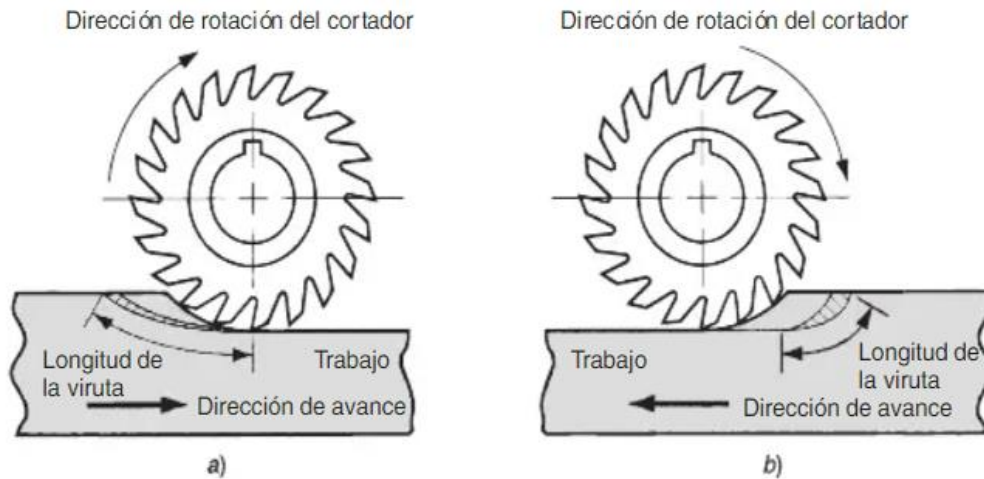
**Fig. 10: a) Fresado periférico y b) Frontal respectivamente. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

El fresado periférico, también llamado fresado plano, el eje de la herramienta es paralelo a la superficie que se está maquinando y la operación se realiza por los bordes de corte en la periferia exterior del cortador, tal y como se muestra en la Fig. 10, existen varios tipos de fresado periférico:

- a) Fresado de placa es la forma básica de fresado periférico en la cual el ancho de la fresa se extiende más allá de la pieza de trabajo en ambos lados. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>
- b) Ranurado, también llamado fresado de ranuras, en el cual el ancho de la fresa es menor que el ancho de la pieza de trabajo, creando una ranura en el trabajo; cuando la fresa es muy delgada se puede usar esta operación para tallar ranuras angostas o para cortar una pieza de trabajo en dos, llamado fresado aserrado. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>
- c) Fresado lateral en el cual la fresa máquina el lado de una pieza de trabajo. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>
- d) Fresado paralelo simultáneo, el cual es el mismo que el fresado natural, excepto porque el corte tiene lugar en ambos lados del trabajo. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

En el fresado periférico hay dos direcciones opuestas de rotación que puede tener la fresa respecto al trabajo. Estas direcciones distinguen dos formas de fresado tal

y como se muestra en la Fig. 11 con el fresado ascendente (a) y fresado descendente (b). (Trent, 2000)<sup>vi</sup>



**Fig. 11: a) Fresado ascendente y b) Fresado descendente. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

- ❖ En el fresado ascendente, también llamado fresado convencional, la dirección del movimiento de los dientes de la fresa es opuesto a la dirección de avance cuando los dientes cortan el trabajo. Es decir, cortan “contra el avance”. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>
- ❖ En el fresado descendente, también llamado fresado tipo escalamiento, la dirección del movimiento de la fresa es la misma que la dirección de avance cuando los dientes cortan el trabajo. Es un fresado “con el avance”. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

De igual manera que en el fresado periférico, también en el fresado frontal existen diversas formas, tal y como se muestra en la Fig. 12:

a) Fresado frontal convencional: En el que el diámetro de la fresa es más grande que el ancho de la pieza de trabajo, de tal manera que la fresa sobrepasa al trabajo en ambos lados. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

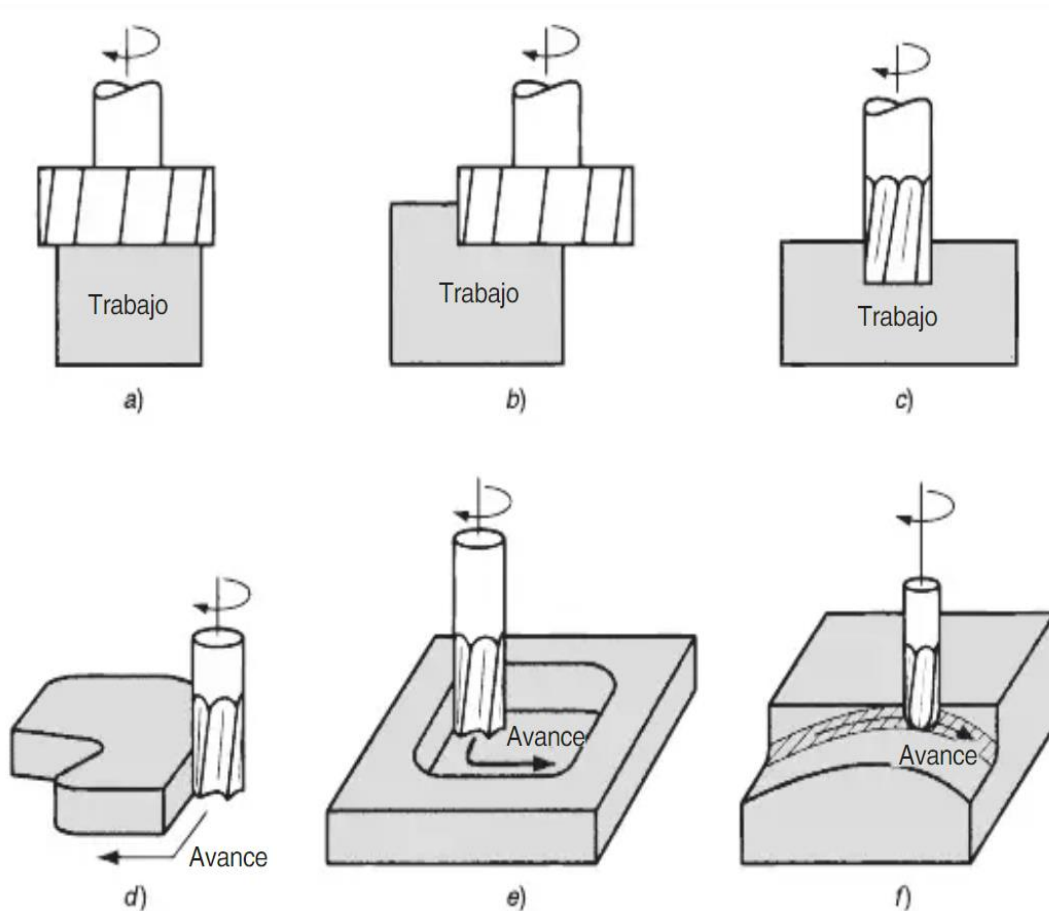
b) Fresado frontal parcial: En el que la fresa sobrepasa al trabajo solamente en un lado. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

c) Fresado terminal: En el cual el diámetro de la fresa es menor que el ancho del trabajo, de manera que se corta una ranura dentro de la pieza. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

d) Fresado de perfiles: Es una forma de fresado terminal en el cual se corta una pieza plana de la periferia. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

e) Fresado de cavidades: Otra forma de fresado terminal usada para fresar cavidades poco profundas en piezas planas. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>

f) Fresado de contorno superficial: En el cual una fresa con punta de bola (en lugar de una fresa cuadrada) se hace avanzar hacia delante y hacia atrás, y hacia un lado y otro del trabajo, a lo largo de una trayectoria curvilínea a pequeños intervalos para crear una superficie tridimensional. Se requiere el mismo control básico para maquinar los contornos de moldes. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>



**Fig. 12: Tipos de fresado frontal. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

Se representan en la Tabla 4 las velocidades de corte utilizadas en el maquinado convencional versus el de alta velocidad para determinados materiales de trabajo.

Las herramientas sólidas representadas en la imagen están hechas de una pieza sólida, las herramientas indexables utilizan insertos indexables. Los materiales apropiados de las herramientas son el carburo cementado y el carburo con revestimiento de varios grados para todos los materiales, cerámicos para todos los materiales, herramientas de diamante policristalino para el aluminio, y nitrido de boro cúbico para aceros. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

**Tabla 4 Tabla comparativa de las velocidades (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

Material de trabajo	Herramientas solidas (fresas escariadas, taladros)				Herramientas indexables (molinos frontales)			
	Velocidad convencional		Velocidad alta de corte		Velocidad convencional		Velocidad alta de corte	
	m/mi n	ft/min	m/mi n	ft/min	m/mi n	ft/min	m/mi n	ft/min
Aluminio	300+	1000 +	3000 +	10000 +	600+	2000 +	3600 +	12000 +
Acero fundido, suave	150	500	360	1200	360	1200	1200	4000
Acero fundido, dúctil	105	350	250	800	250	800	900	3000
Acero, maquinado libre	105	350	360	1200	360	1200	600	2000
Acero, aleación	75	250	250	800	210	700	360	1200
Titanio	40	125	60	200	45	150	99	300

### 1.1.9 Taladrado

El taladrado se usa para crear un agujero redondo. Esto se realiza generalmente con una herramienta giratoria que tiene dos filos cortantes. La herramienta avanza en una dirección paralela a su eje de rotación dentro de la pieza de trabajo para formar el agujero redondo, tal y como se muestra en la Fig. 13. (Israelsson, 2000)<sup>vii</sup>

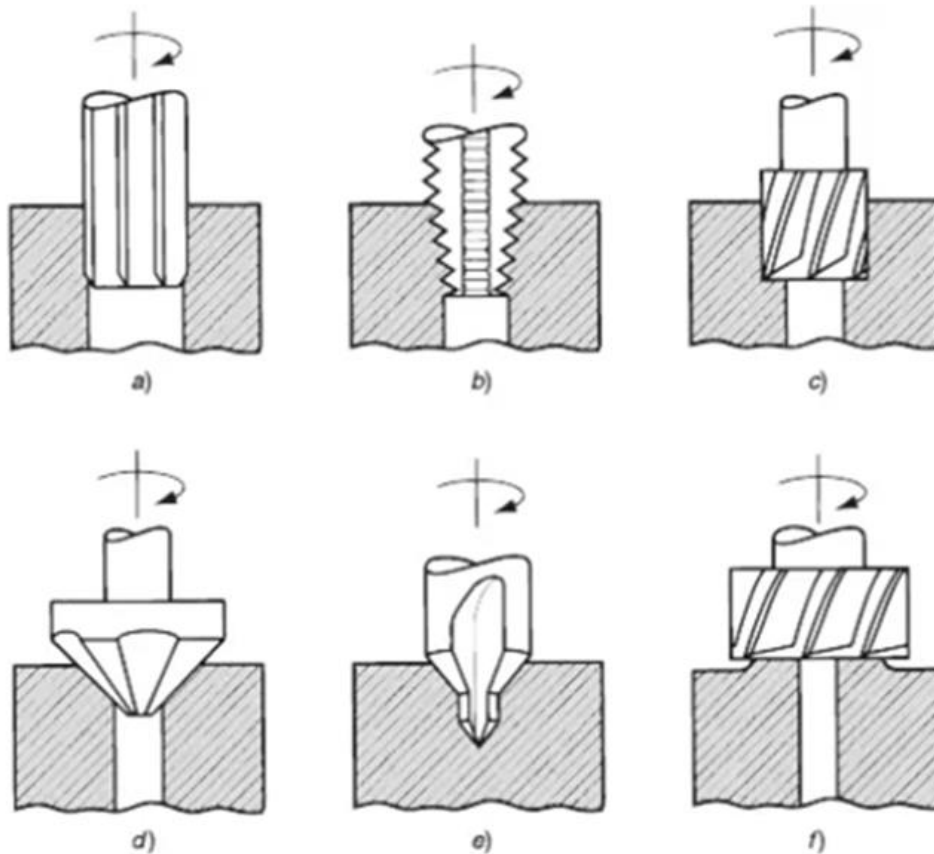


**Fig. 13: Taladrado. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

Varias operaciones se relacionan con el taladrado tal y como se muestra en la Fig. 14 y se describen en esta sección. La mayoría de las operaciones son posteriores al taladrado. Primero debe hacerse un agujero por taladrado y después modificarse por alguna de estas operaciones. El centrado y el refrentado son excepciones a esta regla. Todas las operaciones usan herramientas rotatorias. (Israelsson, 2000)<sup>vii</sup>

- a) **Escariado:** Se usa para agrandar ligeramente un agujero, suministrar una mejor tolerancia en su diámetro y mejorar su acabado superficial. La herramienta se llama escariador y, por lo general, tiene ranuras rectas.
- b) **Roscado interior:** Esta operación se realiza por medio de un machuelo y se usa para cortar una rosca interior en un agujero existente.
- c) **Abocardado:** En el abocardado se produce un agujero escalonado en el cual un diámetro más grande sigue a un diámetro más pequeño parcialmente dentro del agujero. Se usa un agujero abocardado para asentar las cabezas de los pernos dentro de un agujero, de manera que no sobresalgan de la superficie.
- d) **Avellanado:** Es una operación similar al abocardado, salvo que el escalón en el agujero tiene forma de cono para tornillos y pernos de cabeza plana.
- e) **Centrado:** También llamado taladrado central, esta operación taladra un agujero inicial para establecer con precisión el lugar donde se taladrará el siguiente agujero. La herramienta se llama broca de centros.

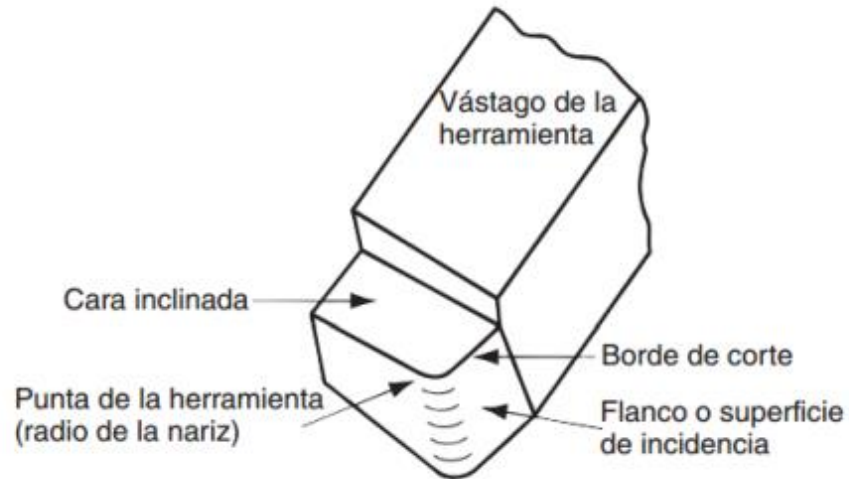
- f) **Refrentado:** Es una operación similar al fresado que se usa para suministrar una superficie maquinada plana en la pieza de trabajo en un área localizada. (Israelsson, 2000)<sup>vii</sup>



**Fig. 14: Tipos de operaciones en el taladrado. (Aronson, 2004)<sup>ii</sup>**

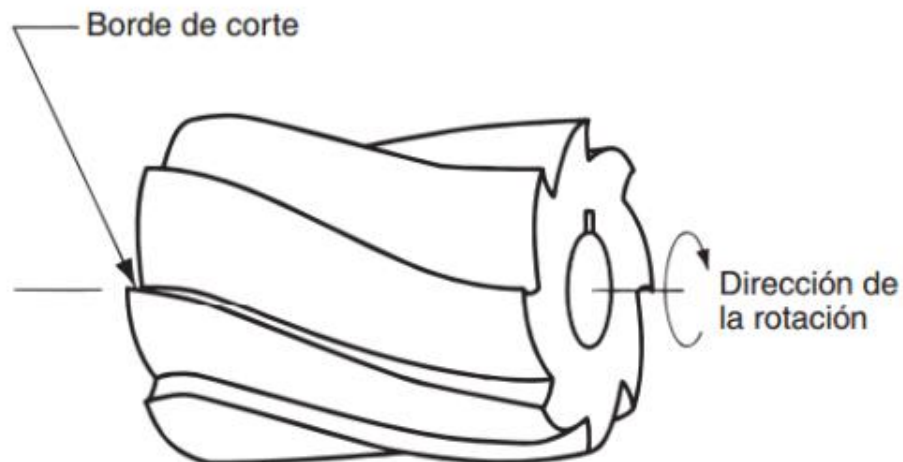
### 1.1.10 Herramienta de corte

Una herramienta de corte tiene uno o más filos cortantes y está hecha de un material que es más duro que el material de trabajo. El filo cortante sirve para separar una viruta del material de trabajo, ligadas al filo cortante hay dos superficies de la herramienta, la cara inclinada y el flanco o superficie de incidencia. Una herramienta de una sola punta tiene un filo cortante y se usa para operaciones como el torneado, podemos observar sus características de la herramienta tal y como se muestra en la Fig. 15. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>



**Fig. 15: Herramienta de un solo filo. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

Las herramientas de múltiples filos cortantes tienen más de un borde de corte y generalmente realizan su movimiento respecto a la pieza de trabajo mediante rotación. El taladrado y el fresado usan herramientas rotatorias de múltiples filos cortantes, tal y como se muestra en la Fig. 16. El proceso de manufactura por remoción de material es el más adecuado para obtener las piezas, puesto que se pueden utilizar tres operaciones de maquinaria como: torneado, fresado y taladrado. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>



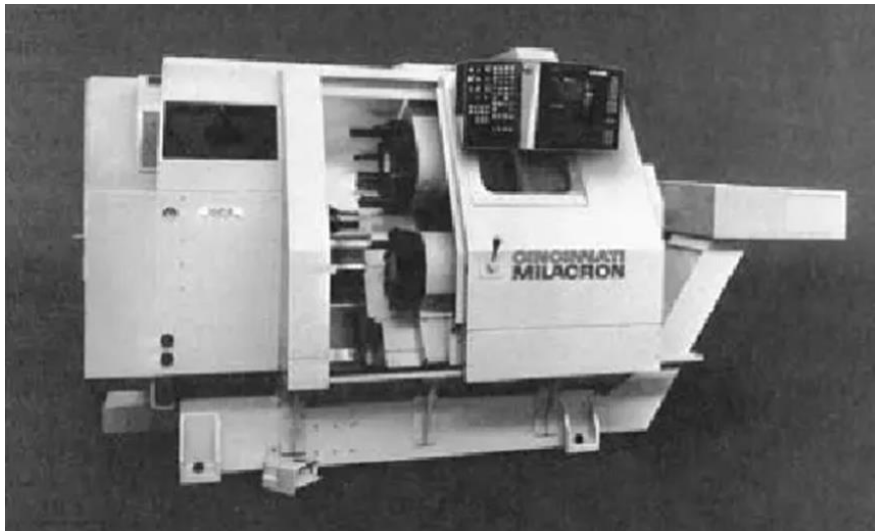
**Fig. 16: Herramienta de múltiples filos. (Trent, 2000)<sup>vi</sup>**

## 1.1.11 Control Numérico Computarizado

La forma moderna es el control numérico computarizado (CNC), en el que las operaciones de la máquina herramienta son controlados por un “programa de instrucciones”. El CNC es un medio sofisticado y muy versátil para controlar los dispositivos mecánicos, que ha conducido a la creación de máquinas herramienta capaces de ciclos de maquinado y formas geométricas más complejas y a niveles más altos de operación automática que las máquinas para tornillos convencionales y las máquinas de mandril. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

## 1.1.12 Torno CNC

El torno de CNC es un ejemplo de estas máquinas de torneado, y es especialmente útil para operaciones de torneado en contorno con tolerancias de trabajo estrechas. En la actualidad, casi todas las máquinas de barras y tornos de mandril se implementan con CNC, tal y como se muestra en la Fig. 17.



**Fig. 17: Máquina de torno CNC. (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

Un centro de torneado CNC moderno, es capaz de desempeñar varias operaciones de torneado y operaciones relacionadas, torneado de contorno y secuenciado automático de herramientas, todas bajo control computarizado. Además, los centros de torneado sofisticado pueden realizar 1) calibrado de piezas de trabajo (verificación de las dimensiones clave después del maquinado), 2) monitoreo de las herramientas (sensores que indican cuando las herramientas están desgastadas),

3) cambio automático de herramientas cuando se desgastan, y además 4) cambio automático de piezas de trabajo al final de cada ciclo. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### 1.1.13 Fresadora CNC

Las máquinas fresadoras CNC son máquinas en las que la trayectoria de corte se controla por datos numéricos en lugar de plantillas físicas. Las máquinas fresadoras CNC están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, fresado de cavidades, fresado de contorno de superficies y operaciones de tallado de matrices, en las que se debe controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de trabajo tal y como se muestra en la Fig. 18 normalmente se requiere el operador para cambiar las fresas y cargar y descargar las piezas de trabajo. (Groover, 2007)<sup>i</sup>



**Fig. 18: Máquina de fresadora CNC. (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

### 1.1.14 Los materiales en la manufactura

La mayor parte de los materiales para ingeniería se clasifican en una de tres categorías básicas: 1) metales, 2) cerámicos y 3) polímeros. Sus características químicas son diferentes, sus propiedades mecánicas y físicas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse para obtener productos de ellos. Además de las tres categorías básicas, hay 4) compuestos — mezclas no homogéneas de los otros tres tipos fundamentales, tal y como se muestra en la Tabla 5. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

En la Tabla 5 podemos encontrar aplicaciones y propiedades para cada categoría de materiales. Los materiales se clasifican según su uso en 5 grupos por sus propiedades que son: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos.

**Tabla 5 Propiedades de los materiales y aplicaciones (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>**

Metales y aleaciones	Ejemplos y aplicaciones	Propiedades
Cobre	Alambre conductor eléctrico	Conductividad eléctrica alta, buena conformabilidad
Hierro fundido gris	Bloques de motores de automóviles	Moldeable, torneable, amortiguador de vibraciones
Aceros de aleación	Llaves inglesas, chasis de automóviles	Endurecimiento significativo por tratamiento térmico
<b>Cerámica y vidrios</b>		
$\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$	Vidrios de ventanas y vidrios de sosa-cal	Ópticamente transparente, aislante térmico
$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{MgO}, \text{SiO}_2$	Refractarios (es decir, recubrimientos resistentes al calor de hongos) para contención de metal fundido	Aislantes térmicos, soportan altas temperaturas, relativamente inertes al metal fundido
Titanio de bario	Capacitores para microelectrónica	Alta capacidad de almacenamiento de carga
Sílice	Fibras ópticas para tecnología de la información	Índice refractivo, pérdidas ópticas bajas
<b>Polímeros</b>		
Poliétileno	Empaquetamiento de alimentos	Fácilmente convertible en películas delgadas, flexibles y herméticas
Epoxi	Encapsulación de circuitos integrados	Aislante eléctrico y resistente a la humedad
Fenólicos	Adhesivos para unir capas en madera laminada	Resistente, repelente a la humedad
<b>Semiconductores</b>		
Silicio (Si)	Transistores y circuitos integrados	Comportamiento eléctrico único
GaAs	Sistemas optoelectrónicos	Convierte señales eléctricas a luz, láseres, diodos láser, etc.
<b>Compuestos</b>		
Grafito-epoxi	Componentes para aviones	Razón resistencia-peso alta
Carburo de tungsteno cobalto	Herramientas de corte de carburo para maquinado	Dureza alta, pero buena resistencia al impacto
Acero revestido con titanio	Contenedores de reactores	Bajo costo y alta resistencia del acero, con la resistencia a la corrosión del titanio

## 1.1.15 Breve historia de la manufactura

La manufactura se originó entre los años 5000 y 4000 a.C. Es más antigua que la historia registrada. Las marcas y los dibujos en las cuevas o en las rocas primitivas dependían de alguna forma de marcador o brocha, y se empleaba una “pintura” o algún medio para grabar en la roca. Era necesario fabricar herramientas apropiadas para esas aplicaciones. La manufactura de productos que tenían diversos usos específicos comenzó con la producción de artículos de madera, cerámica, piedra y metal. Los materiales y procesos que se utilizaron para dar forma a productos mediante la fundición y el martillado se han desarrollado gradualmente a lo largo de los siglos, usando nuevos materiales y operaciones más complejas, con crecientes capacidades de producción y mayores niveles de calidad. Los primeros materiales utilizados para fabricar utensilios domésticos y objetos ornamentales incluían metales como el oro, hierro y cobre, seguidos de la plata, el plomo, estaño, latón y bronce. La producción de acero (entre los años 600 y 800 d.C.) constituyó un hito importante; desde entonces se ha desarrollado una variedad muy amplia de metales ferrosos y no ferrosos. En la actualidad, los materiales que se emplean en productos avanzados, como computadoras y aeronaves supersónicas, incluyen materiales de ingeniería (desarrollados para ese fin) con propiedades únicas, como cerámicos avanzados, plásticos reforzados, materiales compuestos y nanomateriales. (Willian, F, s/f)<sup>ix</sup>

Hasta antes de la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra durante la década de 1750, los bienes se producían en lotes y se requería mucha confianza en la mano de obra en todas las fases de la producción. A dicha revolución también se le denomina Primera Revolución Industrial, ya que la segunda comenzó a mediados del siglo XX con el desarrollo de los dispositivos electrónicos de estado sólido y las computadoras. La mecanización moderna comenzó en Inglaterra y el resto de Europa con el desarrollo de la maquinaria textil y de las máquinas herramienta para cortar metales. Esta tecnología se trasladó rápidamente a Estados Unidos, en donde se desarrolló más y se introdujo el importante avance del diseño, la fabricación y el uso de partes intercambiables, creadas por Eli Whitney a principios de 1800. Antes de esta aportación era necesario en gran medida el ajuste

a mano, porque no se podían fabricar dos partes exactamente iguales. Ahora se da por entendido que podemos reemplazar un tornillo roto de cierto tamaño con uno idéntico comprado años después en una ferretería local. Pronto siguieron nuevos desarrollos, cuyos resultados son incontables productos de uso común y sin los cuales hoy no podríamos imaginar nuestra vida. Al inicio de la década de 1940 se alcanzaron hitos importantes en todos los aspectos de la manufactura. Durante los últimos 100 años, y particularmente durante las últimas tres décadas con el advenimiento de la era de las computadoras, si se compara con el largo periodo transcurrido del año 4000 al año 1 a.C. Aunque los romanos tenían factorías para producir en masa artículos de vidrio, al principio los métodos eran muy primitivos y por lo general muy lentos, con mucha mano de obra en el manejo de partes y en la operación de la maquinaria. Hoy en día, con la ayuda de los sistemas de manufactura integrados por computadora, los métodos de producción han avanzado tanto que, por ejemplo, las latas de aluminio para bebidas se manufacturan a velocidades de 500 por minuto, los agujeros en las hojas metálicas se perforan a razón de 800 por minuto y las bombillas se elaboran en cantidades de más de 2000 por minuto. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### **1.1.16 ¿Qué es la ciencia e ingeniería de materiales?**

La ciencia e ingeniería de materiales (CIM) es un campo interdisciplinario que estudia y manipula la composición y estructura de los materiales a través de escalas de longitud para controlar las propiedades de los materiales por medio de la síntesis y el procesamiento.

La ciencia de materiales se enfoca en las relaciones básicas entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. Por su parte, la ingeniería de materiales se concentra en las formas de convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles. Uno de los aspectos más fascinantes de la ciencia de materiales involucra la investigación de la estructura de un material. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

## 1.1.17 Clasificación de los materiales

Existen formas diferentes de clasificar los materiales. Una de ellas es describir cinco grupos:

- ❖ Metales y aleaciones
- ❖ Cerámicas, vidrios y vidrios cerámicos
- ❖ Polímeros (plásticos)
- ❖ Semiconductores
- ❖ Materiales compuestos

## 1.2 Metales y aleaciones

Los metales incluyen aluminio, magnesio, zinc, hierro, titanio, cobre y níquel. Una aleación es un metal que contiene adiciones de uno o más metales o no metales; por ejemplo, el acero es una aleación de hierro con adiciones de carbono. En general, los metales tienen buenas conductividades eléctricas y térmicas. Además, igual que las aleaciones, tienen resistencias relativamente altas, gran rigidez, ductilidad o formabilidad y resistencia al impacto. Son particularmente útiles para aplicaciones estructurales o de carga. Aunque en ocasiones se usan metales puros, las aleaciones pueden mejorar una propiedad deseable específica o permiten mejores combinaciones de las propiedades. Por ejemplo, el oro puro es un metal blando, por lo que los joyeros le adicionan cobre para mejorar su resistencia con la finalidad de que las joyas de oro no se dañen con facilidad. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### 1.2.1 Metales

Los metales que se emplean en la manufactura, por lo general, son aleaciones, que están compuestos de dos o más elementos, con al menos uno en forma metálica. Los metales se dividen en dos grupos básicos, ferrosos y no ferrosos. (Shackelford, s/f)<sup>x</sup>

### 1.2.2 Metales Ferrosos

Los metales ferrosos se basan en el hierro: el grupo incluye acero y hierro colado. Dichos metales constituyen el grupo comercial más importante, más de las tres cuartas partes del peso total de los metales de todo el mundo. El hierro puro tiene

un uso comercial limitado, pero cuando se mezcla con carbono tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado. (Boothroyf, s/f)<sup>xi</sup>

El acero se define como una aleación de hierro-carbono que contiene 0.02% - 2.11% de carbono. Es la categoría más importante dentro del grupo de metales ferrosos. Es frecuente que su composición incluya otros elementos de la aleación, tales como manganeso, cromo, níquel y molibdeno, para mejorar las propiedades del metal. Las aplicaciones del acero incluyen la construcción (por ejemplo: puentes, vigas tipo I, y clavos), transporte (camiones, rieles y equipo rodante para vía férrea), y productos de consumo (automóviles y aparatos). (Ferrer, 2003)<sup>xii</sup>

El hierro colado es una aleación de fierro y carbono (2% - 4%) que se utiliza en el moldeado (sobre todo en el moldeado en arena verde). El silicio también está presente en la aleación (en cantidades que van de 0.5% a 3%), y es frecuente que también se agreguen otros elementos para obtener propiedades deseables en el elemento fundido. El hierro colado se encuentra disponible en distintas formas, de las que la más común es el hierro colado gris; sus aplicaciones incluyen bloques y cabezas para motores de combustión interna. (Newell, s/f)<sup>xiii</sup>

Los aceros son considerados al carbono cuando no se especifica el contenido mínimo de elementos químicos, que incluyen aluminio, cromo, cobalto, columbio, molibdeno, níquel, titanio, tungsteno o vanadio para el efecto de aleación; cuando el mínimo especificado para cobre es 0.40 o menos, y cuando no se exceden los límites para los siguientes elementos: manganeso (1.65%), silicio (0.6%) y cobre (0.6%). (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>

Si la designación del grado de un acero comienza con '1', hay posibilidades de que sea un acero al carbono. El acero, serie 10XX (donde XX o los últimos dos dígitos representan el promedio o contenido medio de carbono del grado) son grados de carbono plano. Los aceros 11XX son grados resulturizados y aceros de libre mecanizado. Los aceros 12XX, resulturizados y refosforizados son los 'mejores' grados para mecanizado. El acero, serie 15XX contienen alto manganeso, más de 1%; la serie 13XX tiene aún mayor contenido de manganeso y es la única excepción

a la regla de que el "1 es el primer dígito que significa acero al carbono". Los aceros 13XX (manganeso mayor de 1,6%) son considerados aleaciones. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>, Los grados 1008 (0,08 de carbono medio), 1018 (0,18 de carbono medio) y 1045 (0,45 de carbono medio) son aceros al carbono, pero tienen propiedades significativamente diferentes. El grado 1008 tiene alta ductilidad por su bajo contenido de carbono y es mejor para extrusión y conformado en frío que para mecanizado. El 1018 es un grado común usado para muchas aplicaciones generales, incluida la soldadura, y se selecciona a menudo por su bajo costo. El grado 1045 es seleccionado frecuentemente por su alta resistencia y sus propiedades mecánicas, mientras que su contenido de carbono dificulta que sea soldado sin técnicas especiales; el 1045 es común para ejes y otras partes de transmisión de potencia. ("Tipos de Acero", s/f)<sup>xiv</sup>

### 1.2.3 Metales No Ferrosos

Los metales no ferrosos incluyen los demás elementos metálicos y sus aleaciones. En casi todos los casos, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen los metales puros y aleaciones de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales. (Simon Mata, 2005)<sup>xv</sup>

### 1.2.4 Clasificación de metales no ferrosos

- ❖ **Metales no ferrosos pesados:** Son aquellos cuya densidad es igual o mayor a 5 gr/cm<sup>3</sup>. Se encuentran en este grupo el cobre, el estaño, el plomo, el zinc, el níquel, el cromo y el cobalto.
- ❖ **Metales no ferrosos ligeros:** Tienen una densidad comprendida entre 2 y 5 gr/cm<sup>3</sup>. Los más utilizados son el aluminio y el titanio.
- ❖ **Metales no ferrosos ultraligeros:** Su densidad es menor a 5 gr/cm<sup>3</sup>. Se encuentran en este grupo el berilio y el magnesio, aunque el primero de ellos raramente se encuentra en estado puro, sino como elemento de aleación.

Todos estos metales, no ferrosos, están en estado puro, son blandos y poseen una resistencia mecánica bastante reducida. Para mejorar sus propiedades, los metales puros suelen alearse con otros. (Simon Mata, 2005)<sup>xv</sup>

### 1.3 Cerámicas

Los cerámicos se pueden definir como materiales cristalinos inorgánicos. Es posible que sean los materiales más “naturales”. La arena de la playa y las rocas son ejemplo de cerámicos naturales. Los cerámicos avanzados son materiales obtenidos refinando cerámicos naturales y con otros procesos especiales. Se usan en sustratos que albergan chips de computadora, sensores y actuadores, capacitadores, comunicaciones inalámbricas, bujías de motores, inductores y aislantes eléctricos. Algunos cerámicos se usan como recubrimientos, actuando como barrera para proteger sustratos metálicos en motores de turbina. También se usan en productos para el consumismo como pinturas, plásticos y neumáticos, así como aplicaciones industriales como losetas para transbordadores espaciales, soporte de catalizador y en los sensores de oxígeno que usan los automóviles. Las cerámicas tradicionales se usan para fabricar ladrillos, vajillas, artículos sanitarios, refractarios (materiales resistentes al calor) y abrasivos. En general, debido a la presencia de porosidad, no conducen bien el calor y deben calentarse a temperaturas muy altas para que se fundan. Los cerámicos son resistentes y duros, pero también muy frágiles. Normalmente, se preparan polvos finos de cerámico para moldearlos en diversas formas. Las nuevas técnicas de procesamiento obtienen cerámicos con la resistencia suficiente a la fractura como para usarlos en aplicaciones bajo cargas dinámicas. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### 1.4 Vidrios y Vidrios-Cerámicos

El vidrio es un material amorfo; con frecuencia, aunque no siempre, derivado de un líquido fundido. El término “amorfo” se refiere a materiales que no poseen un arreglo regular y periódico de átomos. La industria de la fibra óptica se basa en fibras ópticas compuestas por vidrios de sílice de alta pureza. Los vidrios también se usan en casas, automóviles, pantallas de computadoras, televisores, smartphones y en cientos de otras aplicaciones. Los vidrios pueden tratarse de manera térmica (templarse) para hacerlos más resistentes. La formación de vidrios y la nucleación (formación) de cristales pequeños dentro de ellos por medio de un proceso térmico especial crean materiales a los que se conoce como vidrios-cerámicos. El ZerodurMR es un ejemplo de un material de vidrio-cerámico que se usa para

construir los sustratos de espejos para grandes telescopios (por ejemplo, los telescopios Chandra y Hubble). Por lo general, los vidrios y los vidrios-cerámicos se procesan por fusión y colado. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

## **1.5 Polímeros**

Por lo general, los polímeros son materiales orgánicos. Se producen con un proceso llamado polimerización. Muchos polímeros tienen una resistividad eléctrica muy buena. Un polímero es un compuesto formado por unidades estructurales repetidas denominadas meros, cuyos átomos comparten electrones que forman moléculas muy grandes. Por lo general, los polímeros consisten en carbono más uno o más elementos, tales como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. También pueden proporcionar un buen aislamiento térmico, aunque tienen menos resistencia, tienen una relación de resistencia a peso muy buena. Normalmente, no son adecuados para usos a altas temperaturas. Muchos polímeros tienen muy buena resistencia a las sustancias corrosivas. Los polímeros termoplásticos, cuyas largas cadenas moleculares no están unidas en forma rígida, tienen buena ductilidad y formabilidad; los polímeros termofijos son más resistentes, pero más frágiles porque las cadenas moleculares están estrechamente enlazadas. Los termoplásticos se fabrican conformándolos en estado fundido. Los termofijos se cuecen en moldes. Los polímeros se dividen en tres categorías. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### **1.5.1 Los polímeros termoplásticos**

Pueden sujetarse a ciclos múltiples de calentamiento y enfriamiento sin que se altere en forma sustancial la estructura molecular del polímero. Los termoplásticos comunes incluyen polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo y nailon. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### **1.5.2 Los polímeros termoestables**

Sufren una transformación química (curado) hacia una estructura rígida después de haberse enfriado a partir de una condición plástica calentada; de ahí el nombre de “termoestables”. Los miembros de este tipo incluyen los fenoles, resinas amino y epóxicas. Aunque se emplea el nombre “termoestable”, algunos de dichos

polímeros se curan por medio de mecanismos distintos del calentamiento. (Ferrer, 2003)<sup>xii</sup>

### **1.5.3 Los elastómeros**

Son polímeros que muestran un comportamiento muy elástico; de ahí el nombre de elastómeros. Incluyen el caucho natural, neopreno, silicón y poliuretano. (Newell, s/f)<sup>xiii</sup>

### **1.6 Semiconductores**

Los semiconductores basados en silicio, germanio y arseniuro de galio, como los que se usan en computadoras y dispositivos electrónicos, son parte de una amplia clase de materiales conocidos como materiales electrónicos. La conductividad eléctrica de los materiales semiconductores se encuentra entre la de los aislantes cerámicos y la de los conductores metálicos. Los semiconductores han permitido la era de la información. En algunos de ellos, el nivel de conductividad puede controlarse para producir dispositivos electrónicos, como transistores y diodos, que se usan para construir circuitos integrados. En muchas aplicaciones se necesitan monocristales grandes de semiconductores que se producen a partir de materiales fundidos. Con frecuencia, también se fabrican películas delgadas de materiales semiconductores mediante procesos especializados. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### **1.7 Materiales compuestos**

La idea principal que subyace al desarrollo de compuestos es combinar las propiedades de distintos materiales. Se forman a partir de dos o más materiales, lo cual genera propiedades que no se encuentran en ningún material simple. El concreto, la madera laminada y la fibra de vidrio son ejemplos de materiales compuestos. La fibra de vidrio se prepara por medio de la dispersión de fibras de vidrio en una matriz de polímero. Dichas fibras otorgan mayor rigidez al polímero, Pero no incrementan de forma significativa su densidad. Con los compuestos se pueden producir materiales ligeros, resistentes, dúctiles y resistentes a las temperaturas, o herramientas de corte rígidas, pero resistentes al impacto que de otra manera las rompería. En gran medida, los aviones avanzados y los vehículos aeroespaciales dependen de materiales compuestos. Como se analizó en

secciones anteriores, el Boeing 787 usa plástico reforzado con fibras de carbono en lugar de aluminio en muchos de sus componentes, lo que mejora el rendimiento del combustible. Ciertos equipos deportivos como bicicletas, palos de golf, raquetas de tenis y similares también emplean distintos tipos de materiales compuestos que son ligeros y rígidos. (Askeland, 1998)<sup>viii</sup>

### 1.7.1 Dureza de los materiales compuestos

En la Tabla 6 se comparan los valores de la dureza de algunos materiales comunes de lastres clases que se emplean en la ingeniería: metales, cerámicas y polímeros.

**Tabla 6 Dureza de cerámicas seleccionadas y otros materiales duros, listados en orden ascendente de dureza. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

Material	Dureza de Vickers, HV	Dureza de Knoop, HK	Material	Dureza de Vickers, HV	Dureza de Knoop, HK
Acero endurecido para herramientas	800	850	Nitruro de titanio, TiN	3000	2300
Carburo cementado (WC-Co)	2000	1400	Carburo de titanio, TiC	3200	2500
Alúminia, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2200	1500	Nitruro Cúbico de boro, BN	6000	4000
Carburo de tungsteno, WC	2600	1900	Diamante, policristal sintetizado	7000	5000
Carburo de silicio, SiC	2600	1900	Diamante, natural	10000	8000

### 1.8 Clasificación funcional de los materiales

Los materiales se pueden clasificar con base en la función más importante que desempeñan, es decir, si dicha función es mecánica (estructural), biológica, eléctrica, magnética u óptica. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

## 1.9 Clasificación de los materiales con base en la estructura

Como ya se mencionó, el término “estructura” se refiere al arreglo de los átomos de un material; a la estructura a una escala microscópica se le conoce como “microestructura”. Es posible observar estos arreglos en diferentes escalas, que van de unas cuantas unidades angstrom a un milímetro. Los científicos e ingenieros en materiales han desarrollado un conjunto de instrumentos para caracterizar la estructura de los materiales según varias escalas de longitud, a la cual es posible examinar y describir en cinco niveles distintos:

- ❖ Estructura atómica
- ❖ Arreglos atómicos de corto y largo alcance
- ❖ Nanoestructura
- ❖ Microestructura
- ❖ Macroestructura

La ciencia e ingeniería de materiales está a la vanguardia de la nanociencia y la nanotecnología. La nanociencia es el estudio de los materiales a una escala de longitud nanométrica, mientras que la nanotecnología implica la manipulación y el desarrollo de dispositivos a esa misma escala de longitud. La nanoestructura es la estructura de un material a una escala de longitud de 1 a 100 nm. El interés por el tema del control de la nanoestructura se ha incrementado de manera importante debido a las aplicaciones de ingeniería con materiales avanzados. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

La microestructura es la estructura de los materiales a una escala de longitud de 100 a 100,000 nm o 0.1 a 100 micrómetros (con frecuencia escritos como  $\mu\text{m}$  y pronunciados como “micrones”). Por lo general, la microestructura se refiere a características como el tamaño del grano de un material cristalino y otras relacionadas con los defectos en los materiales. (Un grano es un monocristal de un material compuesto por muchos cristales.) La macroestructura es la estructura de un material a nivel macroscópico donde la escala de longitud es  $.100 \mu\text{m}$ . Las características que determinan la macroestructura incluyen la porosidad, los recubrimientos de la superficie y las microfisuras internas y externas. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

## 1.10 Acero

Se conoce como acero a un conjunto de aleaciones del hierro (Fe) con otros elementos, principalmente carbono (C), pero también zinc (Zn), silicio (Si) o aluminio (Al). Estas aleaciones alteran las propiedades del metal resultante, obteniendo un material más resistente o menos oxidable, etc. El nombre del acero proviene del latín *aciarius*, que refiere al material del cual estaban hechas las armas blancas en la antigüedad. El acero es un material importantísimo en las industrias humanas. Es ampliamente utilizado como material de construcción y como materia prima de diversas herramientas y piezas mecánicas. Es un caso ejemplar de aleación metálica, técnica de combinación de materiales gracias a la cual se suman sus propiedades y se obtiene un material nuevo y particular. (“Características del Acero”, s/f)<sup>xvi</sup>

### 1.10.1 Propiedades del Acero

Las propiedades del acero varían de acuerdo a su composición, es decir, a los elementos que estén aleados en su interior. Por eso es difícil determinar sus propiedades universales.

- ❖ A grandes rasgos constituye un material con una densidad manejable ( $7850 \text{ kg/m}^3$ ), que se dilata y contrae con las variaciones de la temperatura. Posee un altísimo punto de ebullición (hasta los  $3000^\circ\text{C}$ ). En líneas generales es sumamente tenaz, medianamente dúctil, y es maleable.
- ❖ El acero es además un material más duro que el hierro (y por ende más frágil). Se puede soldar con suma facilidad, y es un buen conductor de la electricidad y del magnetismo. De hecho, una pieza de acero imantada no pierde su magnetismo a menos que se la caliente a cierta temperatura. Por eso, se utiliza para fabricar imanes artificiales.
- ❖ La gran desventaja del acero es su susceptibilidad a la corrosión: ya que el hierro puede oxidarse muy fácilmente, genera grietas superficiales que eventualmente pueden consumir la pieza completamente. La solución para este problema son los llamados “aceros inoxidables”. En ellos, se añade algún otro componente

metálico (níquel y cromo generalmente) para disminuir la reactividad del hierro.

(“Características del Acero”, s/f)<sup>xvi</sup>

Para dar una idea de las propiedades que tienen algunos de estos aceros, se compiló la, que enlista el tratamiento a que se sujeta el acero para darle fortalecimiento a su resistencia y ductilidad. Dentro de la Tabla 7 encontramos diferentes siglas que tienen significados como HR= rolado en caliente; CD = estirado en frío; HT = tratamiento térmico que involucra calentamiento y enfriamiento por inmersión, seguidos de templado para producir martensita templada.

**Tabla 7 Tratamientos y Propiedades mecánicas de aceros seleccionados. (Kalpakjian, S & Schmid, 2003)<sup>iv</sup>**

Código	Tratamiento	Resistencia a la tensión		Elongación %
		MPa	lb/in <sup>2</sup>	
1010	HR	304	44000	47
1010	CD	366	53000	12
1020	HR	380	55000	28
1020	CD	421	61000	15
1040	HR	517	75000	20
1040	CD	587	85000	10
1055	HT	897	130000	16
1315	Ninguno	545	79000	34
2030	Ninguno	566	82 000	32
3130	HT	697	101000	28
4130	HT	890	129000	17
4140	HT	918	133000	16
4340	HT	1279	185000	12
4815	HT	635	92000	27
9260	HT	994	144000	18
HSLA	Ninguno	586	85000	20

## 1.10.2 Procedimiento de obtención para el Acero

La técnica de obtención del acero en la actualidad incluye diversos metales y metaloides que forman ferroaleaciones, que le proporcionan dureza y resistencia. Además, el proceso involucra la llamada metalurgia secundaria. Esta segunda etapa le otorga las propiedades químicas y el nivel de inclusiones e impurezas deseado.

El procedimiento habitual involucra el añadido al hierro de una cantidad de carbono no superior al 2%, dependiendo del grado. Esto se realiza en hornos potentes, en los cuales se mantiene a los metales en estado líquido, antes de proceder a mezclarlos y verter la mezcla en un molde para su posterior enfriado. ("Características del Acero", s/f)<sup>xvi</sup>

## 1.10.3 Aplicaciones del Acero

El acero se encuentra en nuestras vidas en casi todas partes, en distintas formas y presentaciones, tales como:

- ❖ Piezas de maquinaria: para automóviles, maquinaria agrícola, armamento militar o tecnología industrial.
- ❖ Vehículos enteros: como la carrocería y esqueleto de barcos, vehículos blindados, y ferrocarriles.
- ❖ Herramientas y aplicaciones: Todo tipo de objetos como soldaduras, tornillos, tuercas, remaches, chapas troqueladas, muelles de válvulas, martillos, llaves, destornilladores, etc.
- ❖ Herramientas de cocina: Como sartenes, ollas, cubiertos.
- ❖ Piezas de construcción: Como las vigas para el embaulado del hormigón.

## 1.11 Acero AISI SAE 4140

Acero 4140 (SAE 4140, AISI 4140) es un acero de baja aleación de la serie Cr-Mo (Serie de cromo molibdeno), este material tiene alta resistencia y templabilidad, buena tenacidad, pequeña deformación durante el enfriamiento rápido, alta resistencia a la fluencia y resistencia duradera a alta temperatura. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

**1.11.1 Acero 4140 Características o aplicaciones**

El acero AISI 4140 se puede convertir en barra de acero redonda, barra de acero plana y cuadrada, placa de acero, tubo de acero, y tiene muchos usos en las industrias aeroespaciales, de petróleo y gas y automotriz. Los usos típicos son recipientes a presión de paredes delgadas, engranajes y ejes forjados (ejes de motor, ejes de bomba, ejes hidráulicos, etc.), husillos (husillos de torno, husillos de fresado, etc.), collares, abrazaderas, pernos de alta resistencia, bonete de válvula, tornillos, tuercas, gusanos, pinzas, barras de torsión y varias piezas carburadas. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

A continuación, se muestran la Tabla 8 para mostrar el acero 4140 ficha técnica que incluye composición química, propiedades y equivalencias, etc.

**Tabla 8 Ficha técnica 1, acero 4140 composición química. (Mundial, M, 2019)<sup>xvii</sup>**

Acero	C	Si (≤)	Mn (≤)	P (≤)	S (≤)	Cr	Mo
4140	0.38-0.43	0.15-0.35	0.75-1.00	0.035	0.040	0.80-1.10	0.15-0.25

**1.11.2 Normalizado**

El acero 4140 normalmente se normaliza a 870 °C (1600 °C), y debe enfriarse a una temperatura especificada en aire quieto. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

**1.11.3 Recocido Esferoidal**

Para el recocido esferoidal del acero SAE 4140, necesita tratamiento térmico a 749 °C (1380 °F), seguido de enfriamiento lento a 665 °C (1230 °F) a una velocidad de 6 °C (10 °F) / hora, o enfriamiento rápido a 675 °C para recocido isotérmico. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

**1.11.4 Recocido completo**

Tratamiento térmico a 845 °C, enfriamiento lento de parte de 755 °C a una velocidad de 14 °C (25 °F) / hora a 665 °C, o enfriamiento rápido a 675 °C durante 5 horas de recocido isotérmico. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

## 1.11.5 Templado

La temperatura de templado del acero SAE 4140 puede ser de 204-649 °C (400-1200 °F) después de la normalización y el enfriamiento del aceite, y se puede obtener la dureza Rockwell correspondiente. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

## 1.11.6 Forja

La temperatura de forja del material 4140 es de aproximadamente, 1232 °C (2250 °F). (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

## 1.11.7 Soldadura

Todos los procesos comunes de soldadura por arco, como (SAW, SMAW, FCAW, GMAW, GTAW) se pueden usar para soldar acero SAE 4140, pero para evitar grietas, se debe precalentar a 170-350 °C antes de soldar. La temperatura de precalentamiento interpass depende del grosor de la sección del acero. (Mundial, M,2019)<sup>xvii</sup>

## 1.12 La historia del doblado o curvado de metales

Antes de que el acero entrara en uso generalizado durante la última parte del siglo XIX, las estructuras curvas se construían con frecuencia de hierro, que se funde en forma líquida en un perfil curvo o se construye a partir de componentes de hierro forjado, ya sea con placas de alma perfiladas o en forma de cerchas de celosía. Debido a que el hierro forjado era muy blando, los herreros podían curvar componentes pequeños mediante forjado en caliente.

Durante el siglo XX, las vigas de acero laminado se curvaron con dobladores de metal para su uso como arcos de mina para soportar trabajos subterráneos. Las prensas hidráulicas se utilizaron inicialmente para curvar las viguetas, pero finalmente se introdujeron las máquinas dobladoras de tres rodillos para doblar metal. Debido a que las viguetas tienen almas muy gruesas, no son susceptibles a pandeo durante la operación de doblado.

Los dobladores de metal también se utilizaron en la fabricación de cascos de barcos. Ya en 1910, se utilizaron equipos de doblado que incorporaban rodillos para curvar planos de bulbo, ángulos de bulbo y tes para uso marino. Durante el período

comprendido entre 1930 y 1950, también se utilizaron pequeños componentes curvos de acero en estructuras de edificios relativamente simples. Las cabañas Nissen, los colgadores de aviones y los graneros holandeses a menudo tenían una estructura de soporte de ángulos de acero curvados o pequeñas secciones en I enrolladas. (Benders,2017)<sup>xviii</sup>

Desde finales de la década de 1940, las vigas universales (secciones en I con alas paralelas) se generalizaron. Estas secciones de ala paralelas, que tenían almas relativamente delgadas (en comparación con las viguetas), eran difíciles de curvar alrededor del eje principal porque la fuerza necesaria para doblar una viga completa era en realidad mayor que la que causaba el pandeo local del alma. A mediados de la década de 1970, se introdujeron las empresas de doblado de acero que producían máquinas dobladoras con rodillos adicionales para soportar la banda. Este desarrollo permitió a los dobladores de acero curvar grandes vigas universales alrededor del eje principal de manera económica y precisa y tuvo una influencia significativa en el diseño de estructuras de acero curvas y el doblado de metales se convirtió en una característica común en la industria de la construcción. Con el paso del tiempo, el doblado por inducción, un proceso de doblado en caliente que se desarrolló originalmente para el proceso de doblado de tuberías, también se ha adaptado a las necesidades de la estructura de acero. (Benders,2017)<sup>xviii</sup>

Durante las dos últimas décadas del siglo XX, la demanda de elementos de acero curvados en estructuras de edificios aumentó considerablemente. El enfoque de la inversión de capital en edificios comerciales en lugar de industriales, y la construcción resultante de nuevas oficinas, terminales de aeropuerto, estaciones, hipermercados e instalaciones de ocio proporcionaron el entorno de mercado en el que floreció el acero estructural y el doblado de metales se convirtió en un negocio viable por derecho propio. Ofreciendo doblado de metal en una variedad de formas y ofreciendo a los arquitectos una forma de lograr sus visiones.

Más específicamente, con la introducción de equipos con la capacidad de doblar acero / metal de manera precisa y económica, las ventajas inherentes de la construcción con estructura de acero se complementaron con nuevas posibilidades

de diseño que antes se habían confinado a formas alternativas de construcción o limitadas por consideraciones de costos. La principal ventaja de utilizar elementos curvos es el indudable atractivo estético de las secciones y tubos de acero curvados, lo que ha abierto nuevos horizontes para el diseño creativo de estructuras de acero. (Benders,2017)<sup>xviii</sup>

El equipo que se usa en forjado consiste en máquinas de forja, que se clasifican en martinets, prensas, troqueles de forjado y herramientas especiales que se usan en estas máquinas; equipos auxiliares como hornos para calentar el trabajo, dispositivos mecánicos para cargar y descargar el material de trabajo y estaciones de recorte para recortar las rebabas del forjado con troquel impresor. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### **1.13 Martinets de forja**

Estos martinets funcionan aplicando una descarga por impacto contra el material de trabajo. Se usa frecuentemente el término martinete de caída libre para designar estas máquinas, por la forma de liberar la energía de impacto. Los martinets de caída libre se usan más frecuentemente para forjado con troquel impresor. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### **1.14 Troqueles de forjado**

Es importante el diseño apropiado de los troqueles para el éxito de la operación de forjado. Las piezas que se forjan deben diseñarse con base en el conocimiento de los principios y limitaciones de este proceso. El objetivo es describir parte de la terminología y algunos lineamientos que se usan en el diseño de troqueles para forja. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### **1.15 Prensas de forjado**

Las prensas aplican una presión gradual, en lugar de impactos repentinos para realizar las operaciones de forja. Las prensas de forjado incluyen prensas mecánicas, prensas hidráulicas y prensas de tornillo. Las prensas mecánicas funcionan por medio de excéntricos, manivelas y juntas o articulaciones de bisagra que convierten el movimiento giratorio de un motor en movimientos de traslación del

pisón. Estos mecanismos son muy similares a los que se usan en las prensas de estampado. Las prensas mecánicas típicas alcanzan fuerzas muy altas en el fondo del recorrido de forjado. Las prensas hidráulicas usan un cilindro hidráulico para accionar el pisón. Las prensas de tornillo aplican la fuerza por medio de un tornillo que mueve al pisón vertical. Tanto las prensas de tornillo como las hidráulicas operan a velocidades bajas del pisón o ariete y pueden suministrar una fuerza constante a través de la carrera. Por tanto, estas máquinas son apropiadas para las operaciones de forjado (y otras operaciones de formado) que requieren grandes carreras. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

## 1.16 Prensa

La prensa es una máquina que se utiliza para comprimir y está vinculado a ejercer una presión o aplicar una fuerza. Existen distintos tipos de prensa de acuerdo con el uso en cuestión. La prensa mecánica o prensadora es la máquina que, a través de un volante de inercia, acumula energía y la transmite por vía mecánica o neumática a un troquelo matriz. Estas prensas, por lo tanto, permiten realizar el proceso conocido como troquelación (la realización de agujeros en metales, plásticos, cartones u otros materiales). La prensa hidráulica, por otra parte, presenta un mecanismo con vasos comunicantes que son impulsados por pistones y que, a través de pequeñas fuerzas, permite conseguir otras mayores. La prensa rotativa o simplemente rotativa es una máquina de impresión en que aquello que imprime se curva sobre un cilindro y, por lo tanto, utiliza rollos continuos que le permite imprimir grandes cantidades con mucha velocidad. La máquina utilizada para la mayoría de las operaciones de trabajo en frío y algunos en caliente, se conoce como prensa. Consiste en un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, una fuente de potencia, y un mecanismo para mover el ariete linealmente y en ángulos rectos con relación a la bancada. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

Una prensa debe estar equipada con matrices y punzones diseñados para ciertas operaciones específicas. La mayoría de las operaciones de Formado, Doblado, Punzonado, Embutido y Cizallado, se pueden efectuar en cualquier prensa normal si se usan matrices y punzones adecuados. Las prensas tienen capacidad para la

producción rápida, puesto que el tiempo de operación es solamente el que necesita para una carrera del ariete, más el tiempo necesario para alimentar el material. Por consiguiente, se pueden conservar bajos costos de producción. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

## **1.17 Clasificación de las Prensas**

### **1.17.1 Prensas Mecánicas**

Las prensas mecánicas constan de un motor eléctrico que hace girar un volante de inercia que sirve de acumulador de energía. La energía se entrega a la parte móvil de la prensa (carro) mediante un embrague o acoplamiento. La entrega de la energía es rápida y total, gastando en cada golpe una fracción de la capacidad de trabajo acumulada. Se usan para trabajos de corte, estampación, forja y pequeñas embuticiones. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

### **1.17.2 Prensas Hidráulicas**

La prensa hidráulica se basa en el conocido principio de Pascal, alimentándose un pistón de gran diámetro con fluido a alta presión y bajo caudal, consiguiendo altísimas fuerzas resultantes. La entrega de energía es controlada en cada momento tanto en fuerza como en velocidad, por lo que mantenemos el control constante del proceso. Se usan en operaciones de embutición profunda y en procesos de altas sollicitaciones como acuñado.

### **1.17.3 Prensas para trabajos mixtos progresivos, Prensas múltiples (o de paso)**

Se entiende por trabajo progresivo de prensado la serie de operaciones sucesivas que transforman gradualmente, con un mismo troquel, una chapa plana, una tira o una cinta, a fin de obtener piezas con otra forma. El procedimiento consiste en un mínimo de dos fases, a saber: corte y doblado, o embutido y corte. El objetivo es el poder obtener en un solo tiempo y con un solo troquel una serie de operaciones sucesivas. Es necesario que los punzones estén paralelos entre sí y actúen sincronizados, haciéndolos trabajar en forma regular. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

## 1.17.4 Prensas combinadas (de bloque)

Son prensas que, por tener acción mixta, tienen sus útiles combinados (no en línea), realizando el proceso en una sola operación. Las operaciones que combinan pueden ser de corte, embutido, doblado, agujereado, etc.

Por lo tanto, tendremos, por ejemplo:

- ❖ Prensas para doblar y embutir
- ❖ Prensas de cortar y embutir
- ❖ Prensas para cortar, embutir y agujerear

Para seleccionar el tipo de prensa a usar en un trabajo dado, se deben considerar:

El tipo de operación a desarrollar, tamaño de la pieza, potencia requerida, y la velocidad de la operación. Para la mayoría de las operaciones de punzonado, recortado y desbarbado, se usan generalmente prensas del tipo manivela o excéntrica. En estas prensas, la energía del volante se puede transmitir al eje principal, ya sea directamente o a través de un tren de engranes. La prensa de junta articulada se ajusta idealmente a las operaciones de acuñado, prensado o forja. Tienen una carrera corta y es capaz de imprimir una fuerza extrema. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

## 1.17.5 Otras Clasificaciones de prensas

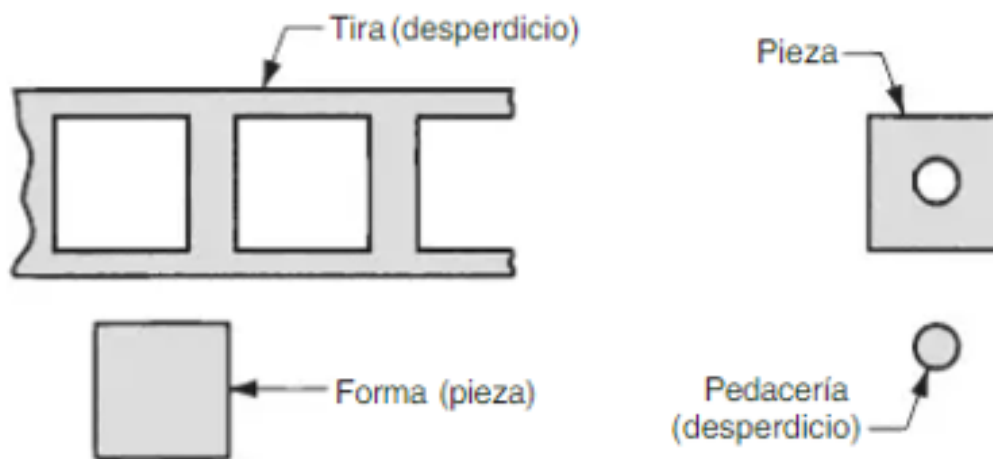
Por su sistema de transmisión pueden clasificarse en «prensas a volante directo», «prensas de reducción», «prensas de doble reducción», «prensas de reducción paralela» y «prensas de cinemática especial». Por su estructura se pueden clasificar en «prensas de cuello de cisne y «prensas de doble montante» (dentro de estas existen el monobloc y las de piezas armadas por tirantes). Por su velocidad se clasifican en «prensas convencionales» (de 12 a 200 golpes minuto en función de su tamaño), «prensas rápidas» (de 300 a 700 golpes por minuto) y «prensas de alta velocidad» (de 800 hasta 1600 golpes por minuto); las más rápidas son de fabricación japonesa y suiza. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

## 1.18 Operaciones que se pueden realizar en una prensa

Las operaciones que se pueden realizar en una prensa son las siguientes:

## 1.18.1 Punzonado

Punzonado Como una operación de forjado, el punzonado es un proceso de deformación en el cual se prensa una forma endurecida de acero sobre un bloque de acero suave (u otro metal suave). El proceso se usa frecuentemente para hacer cavidades de moldes para moldeo de plásticos y fundición de troqueles, tal y como se muestra en la Fig. 19, La forma de acero endurecido se llama punzón o fresa, y está maquinada con la forma de la pieza que se va a moldear. Para forzar la fresa dentro del bloque de metal suave se requiere una presión sustancial; esto se logra generalmente con una prensa hidráulica. La formación completa de la cavidad de la fresa en el bloque requiere frecuentemente varios pasos, como el fresado seguido del recocido para remover el endurecimiento por deformación. Cuando el bloque de material se ha deformado en cantidades significativas, se elimina el exceso por maquinado. La ventaja del punzonado en esta aplicación es que es más fácil maquinar la forma positiva que erosionar la cavidad negativa. Esta ventaja se multiplica en los casos donde se tienen que hacer cavidades múltiples en el bloque del troquel. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

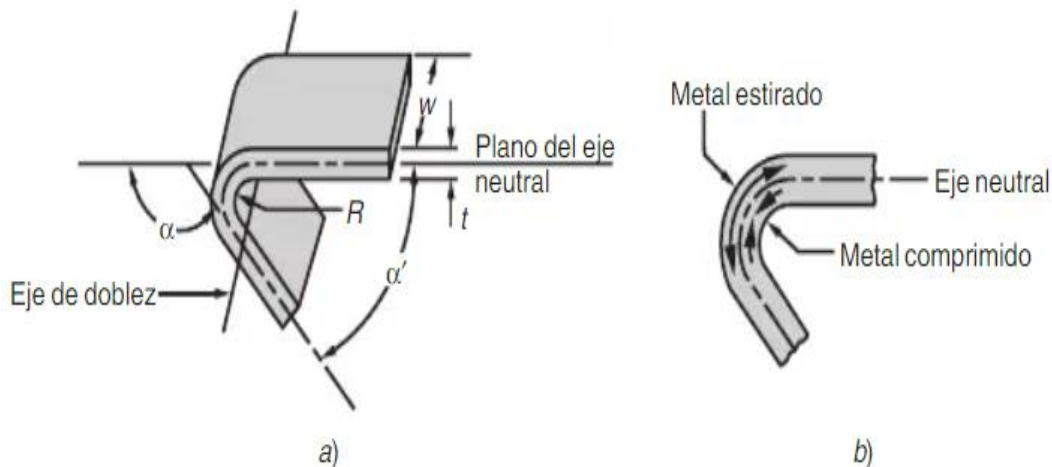


**Fig. 19: Punzonado y perforado. (Groover, 2007)<sup>j</sup>**

## 1.18.2 Doblado

El doblado se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto, como se muestra en el inciso a) que se encuentra en la Fig. 20. Durante la operación de

doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira. Estas condiciones de deformación se pueden ver en la Fig. 20 dentro del inciso b). El metal se deforma plásticamente, así que el doblado toma una forma permanente al remover los esfuerzos que lo causaron. El doblado produce poco o ningún cambio en el espesor de la lámina metálica. (Jesús Francisco Alvarado Mendoza, 2020)<sup>xx</sup>



**Fig. 20: a) Doblado de lámina metálica a) En el doblado ocurre elongación a la tensión y a la compresión. (Groover, 2007)<sup>i</sup>**

El doblado con rodillos es una operación en la cual generalmente se forman piezas grandes de lámina metálica en secciones curvas por medio de rodillos. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

### 1.18.3 Extrusión

La extrusión es un proceso de formado por compresión en el cual el metal de trabajo es forzado a fluir a través de la abertura de un troquel para darle forma a su sección transversal. El proceso puede parecerse a apretar un tubo de pasta de dientes. La extrusión data de 1800. Las ventajas de los procesos modernos incluyen: 1) se puede extruir una gran variedad de formas, especialmente con extrusión en caliente; sin embargo, una limitación de la configuración geométrica es que la sección transversal debe ser la misma a lo largo de toda la pieza; 2) la estructura del grano y las propiedades de resistencia se mejoran con la extrusión en frío o en caliente; 3) son posibles tolerancias muy estrechas, en especial cuando se usa extrusión en

frío; 4) en algunas operaciones de extrusión se genera poco o ningún material de desperdicio. (Groover, 2007)<sup>i</sup>

## 1.18.4 Forjado

Es un método de manufactura de piezas metálicas, que consisten en la deformación plástica de un metal, ocasionada por esfuerzos impuestos sobre él, ya sea por impacto o por presión. En el proceso, el metal fluye en la dirección de menor resistencia, así que generalmente ocurrirá un alargamiento lateral al menos que se le contenga. (Jesús Francisco Alvarado Mendoza,2020)<sup>xx</sup>

Existen dos clases de forja, en matriz abierta y en matriz cerrada:

- ❖ Forja en matriz abierta: Producción de piezas pesadas con tolerancias grandes y en lotes pequeños y medianos.
- ❖ Forja en matriz cerrada: Producción de piezas de peso reducido, de precisión y en lotes de 1000 a 10000 unidades. (Bavaresco, s/f.)<sup>xix</sup>

## 1.19 Dobladoras

### 1.19.1 Historia de las máquinas dobladoras

Desde los inicios del procesamiento de chapa hasta los primeros dispositivos de doblado en la Edad Media. La historia de las máquinas dobladoras comienza en la antigüedad.

La historia de las máquinas dobladoras se remonta a la antigüedad. Se forjaban láminas de cobre, oro, plata y todo tipo de aleaciones. El martilleo, también llamado repujado o persiguiendo, se empleaba para dar forma, doblar y fabricar numerosos artículos: monedas, joyas, herramientas, objetos cotidianos, armas y partes de armaduras. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

Los productos de chapa eran muy populares en la antigüedad y los herreros eran especialistas muy respetados. Hefesto, el dios griego de la metalurgia, era el único artesano entre los dioses que también era responsable del fuego. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

El oficio del herrero se extendió y la tecnología metalúrgica continuó desarrollándose. A partir del siglo XI, el metal no solo se martillaba a mano. Ahora se hizo posible fabricar y procesar láminas de acero en grandes cantidades. Enormes martillos en forjas de martillo accionadas por agua se hicieron cargo del trabajo realmente duro, lo que facilitó e hizo más eficiente la fabricación de productos básicos. "Solo fue posible producir paneles más grandes de alrededor de 500 por 500 mm con un grosor de < 1 mm con la ayuda de estos martillos mecánicos", escribe Gerd Ising sobre el desarrollo histórico del doblado de metal en los frenos. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

Elaboración de chapas medievales: entre el banco de trabajo y el tornillo de banco, entonces, las láminas de metal estaban disponibles y la gente estaba ocupada doblándolas y dándoles forma. Lo hicieron, y todavía se puede hacer hoy, en cualquier banco de trabajo bien equipado; incluso podría ser una simple mesa de madera o un banco de carpintero. El metal delgado fue, y todavía es, moldeado libremente: prácticamente se le da la forma deseada sobre un borde con un martillo. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

Sin embargo, el trabajo comenzó a dividirse a partir de la fundación de los gremios. El herrero ya no tenía que producir y procesar las láminas de metal, ahora lo hacían los fabricantes de láminas. Surgieron una serie de profesiones diferentes, algunas de las cuales aún existen en la actualidad, o en una forma similar: orfebres y orfebres ornamentales hasta hojalateros, caldereros, caldereros y hojalateros. Un grabado en madera de alrededor de 1500 documenta de manera impresionante el estado de la tecnología de fabricación en la era preindustrial: en esta vista del taller de un armero, también se pueden ver muy claramente las herramientas especiales de modelado y abocardado. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

La invención del tornillo de banco a principios del siglo XVI significó que entonces era posible doblar láminas más gruesas o estrechas, pero obviamente solo sobre el ancho de las mordazas del tornillo de banco.

Se tuvo que encontrar una solución más grande para hojas más grandes. Parecía algo así en los talleres medievales: la lámina se sujetaba entre dos vigas de madera

con varillas roscadas de madera y luego se trabajaba con un martillo. A veces se unía una segunda viga a la viga inferior con una correa de cuero que podía usarse para doblar la hoja alrededor de la viga superior. Desafortunadamente, no solo la hoja, sino también la viga completa a veces se doblaba. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

### **1.19.2.1 La revolución industrial en la metalurgia mecánica**

Una cosa no había cambiado en la metalurgia a mediados del siglo XVIII: todavía era un trabajo manual muy duro. Pero con la Revolución Industrial, más y más varillas roscadas de madera y vigas de madera fueron reemplazadas por piezas de metal; la función de cierre también constaba de palancas, ejes de control y cojinetes excéntricos de metal. La mesa de plegado de madera a menudo se reforzaba con metal, el llamado riel de borde, para lograr resultados de plegado exactos. Y la producción de chapa metálica realmente despegó a finales del siglo XVIII cuando el industrial inglés John Wilkinson inventó el tren de laminación reversible. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

En el siglo XIX se realizaron los primeros “frenos de plegado de chapa”, las hojas de metal ahora estaban disponibles en abundancia y, en consecuencia, su procesamiento también se mecanizó rápidamente. Las primeras máquinas plegadoras se denominaron “frenos de plegado de chapa” o “bancos plegables” alrededor de 1875. Eran verdaderos pesos pesados, pero sin duda facilitaban el trabajo. Entonces entró en escena la hidráulica: la palanca de bloqueo y las herramientas de plegado eran accionadas por uno o varios cilindros hidráulicos y controladas con una simple válvula de palanca. Inicialmente, las cizallas solo se movían manualmente por puro impulso, pero más tarde también se accionaron hidráulicamente. Durante mucho tiempo, la posición de la curva se definía con una regla plegable o plantilla. A estos se unieron más adelante los primeros sistemas de tope trasero ajustables accionados manualmente.

Los sistemas de flexión se electrificaron cada vez más entre principios y mediados del siglo XX. Los primeros sistemas de control simples se desarrollaron para controlar las funciones de sujeción, doblado y corte. A partir de entonces, las

máquinas dobladoras casi se controlaron solas. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

La firma de 1973 de suiza de Jorns sirvió para comenzar a producir máquinas curvadoras, cuando el maestro mecánico Kurt Jorns se hizo cargo de la empresa Konrad en Lotzwil, Suiza, los soportes individuales de las máquinas dobladoras todavía estaban atornillados al suelo en las instalaciones de los clientes. Esto resultó ser un desafío en términos de estática según el sustrato, y uno que podría dar lugar a imprecisiones durante el plegado. Kurt Jorns reconoció este problema y desarrolló uno de los primeros bastidores de máquina para la máquina dobladora: una novedad en la industria. En 1975, Jorns pudo presentar las primeras plegadoras controladas por NC: las series 78 y 77. No mucho después, a estas les siguieron las primeras máquinas dobladoras con un tope trasero motorizado y cizallas eléctricas. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

### **1.19.2.2 La historia de la máquina dobladora en la era digital**

La era digital comenzó con los controles numéricos (NC) para todas las máquinas herramienta. A estos se unieron los interruptores de rueda manual para máquinas dobladoras en la década de 1980. Gracias a ellos, los valores exactos se pueden preestablecer y ejecutar para los sistemas de sujeción, doblado, corte y tope posterior. Un programa estaba limitado por el número de filas de interruptores de ruedecilla.

las primeras máquinas plegadoras con control CNC y monitor se construyeron a principios de la década de 1990. Los sistemas de medición también se volvieron cada vez más precisos y las velocidades más altas. Salieron al mercado los primeros sistemas de tope trasero cónicos. A estos se unieron a finales de los 90 los sistemas de control gráfico, seguidos de pantallas táctiles que se podían manejar directamente con un dedo. Las máquinas dobladoras dobles completamente automáticas celebraron su estreno en el cambio de milenio. (A short history of bending machines – Part 1, 2021)<sup>xxi</sup>

### 1.19.3 ¿Qué es una máquina dobladora?

Máquina dobladora, una máquina herramienta para dar forma a piezas de trabajo espaciales a partir de material inicial, plano o en forma de varilla sin cortar: placas de metal, tiras, varillas, tubos, etc. Una máquina dobladora se conoce como una máquina utilizada principalmente para formar una curva en cualquier pieza de trabajo requerida, se puede observar una representación en la Fig. 21. La máquina se utiliza para hacer uso de la herramienta de doblado que está presente en ella y es responsable del proceso. Hay varios tipos diferentes de máquinas dobladoras que están comúnmente disponibles en el mercado. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>



**Fig. 21. Máquina Dobladora. (Dobladora | Amada México, s/f.)<sup>xxiii</sup>**

Algunos de estos se mencionan a continuación:

### 1.19.4 Tipos de máquina dobladora

- ❖ Dobladora de chapa
- ❖ Máquina dobladora-cortadora-punzonadora de barras colectoras
- ❖ Curvadora de perfiles hidráulica y mecánica
- ❖ Mano hidráulica
- ❖ Dobladora de tubos motorizada
- ❖ Máquina plegadora de hojas

- ❖ Dobladora de chapa
- ❖ Dobladora de tubos

#### **1.19.4.1 Dobladora de tubos**

Las máquinas dobladoras de tubos son las que se encargan de ayudar en el doblado de las tuberías o tubos de diferentes materiales. Hay industrias como la automotriz, la plomería, la arquitectura y otras que constantemente utilizan la máquina dobladora de tubos para curvar los tubos para cualquier otro propósito industrial. Incluso si está trabajando en doblar una pieza pequeña de tubería o en una más grande, el equipo funciona perfectamente sin usar ninguna energía o fuerza de alto nivel. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

#### **1.19.4.2 Máquina dobladora de láminas de metal**

La máquina dobladora de láminas se selecciona principalmente con el propósito de crear una curva dentro de las láminas de metal. Las piezas metálicas se fijan inicialmente en el dispositivo de sujeción que se sabe que las sujeta durante todo el proceso de funcionamiento. La naturaleza de esta máquina dobladora se debe a un hecho desconocido y es que están fabricadas con una materia prima de muy alta calidad. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

#### **1.19.4.3 Máquina plegadora de hojas**

Se conoce como un instrumento que se utiliza para doblar los objetos en cualquier ángulo particular. Este perfil de máquina dobladora se conoce como máquina dobladora de tubos, ya que se utiliza principalmente con el objetivo de doblar objetos de tubería. Principalmente, este tipo de máquina se considera adecuada para usarse cuando se trata de doblar objetos como una tubería, tubo, etc. Las máquinas dobladoras de perfiles son las que se utilizan debido a su calidad de alta precisión y son las preferidas entre la mayoría de los usuarios. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

#### **1.19.4.4 Máquina de freno de prensa hidráulica**

Todos los instrumentos técnicamente superiores y perfectamente diseñados consumen menos electricidad e incluso tienen un mantenimiento mínimo. Principalmente debido a los cilindros traseros, el sistema es responsable de consumir menor presión junto con los cilindros compactos. Las máquinas con este tipo de calidad superior tienen poder para luchar contra fallas por fatiga y las máquinas tienen una capacidad de mejor rigidez y capacidad de carga. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

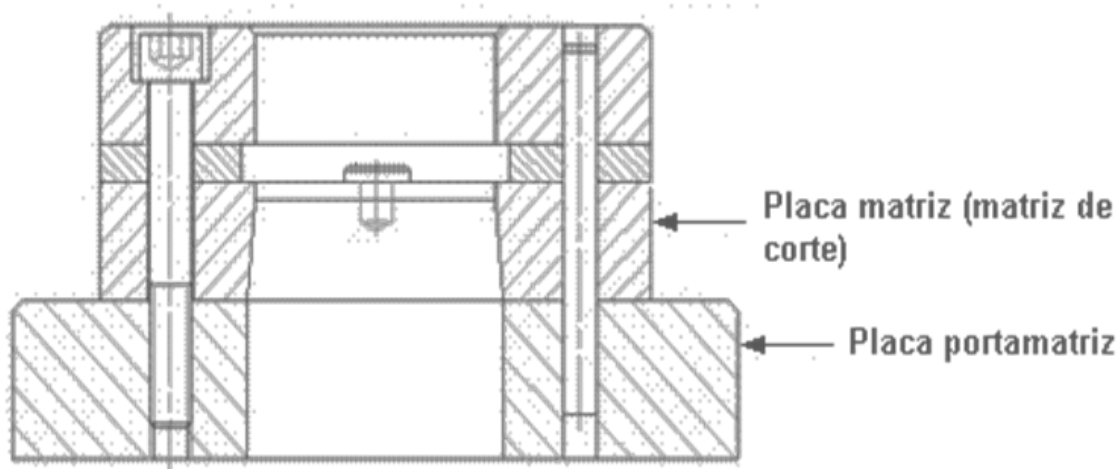
#### **1.19.5 Partes principales de la máquina dobladora**

##### **1.19.5.1 Doblar morir**

La matriz de curvatura se conoce como la que también se conoce como forma de curvatura o matriz de radio. Esto se denomina como una de las partes más importantes de una máquina dobladora rotativa. El tubo se encuentra en la matriz de doblado donde el proceso de estirado produce el doblado requerido. La elección de este tipo de troquel es muy importante, ya que de ello depende el número de tubos presentes en el interior del radio. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

##### **1.19.5.2 Matriz de sujeción**

El troquel de abrazadera se conoce como el que presiona el tubo sobre el troquel de curvatura. El objetivo principal de este tipo de matriz es evitar que la tubería se deslice mientras se encuentra en funcionamiento, podemos observar un ejemplo de matriz de sujeción en la Fig. 22. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>



**Fig. 22. Matriz de sujeción o troquel de corte. (Groover, 2007)**

### 1.19.5.3 Troquel de presión

Se encuentra que el troquel de presión es responsable de garantizar que el tubo siga el contorno del troquel de curvatura. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

### 1.19.5.4 Matriz de limpiaparabrisas

Un dado de limpiaparabrisas es el que se coloca justo después del dado de doblez. El objetivo principal de este troquel es evitar la formación de jorobas en el radio interior.

Durante el proceso de formación, el material se convierte en plástico mientras se dobla. Esto también puede resultar en la formación de arrugas junto con las deformaciones más grandes. Por lo tanto, agregar una matriz de limpieza justo después de la matriz de curvatura ayuda a suavizar la superficie. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

### 1.19.5.5 Mandril

En el doblado de tubos de acero y aluminio, se encuentra que un mandril es bastante necesario para trabajos más difíciles. Doblar un radio pequeño, tubos delgados o materiales más duros resulta en un resultado insatisfactorio. Por lo tanto, en esos casos, se encuentra que un mandril es bastante útil. El objetivo principal de un

mandril es evitar que el tubo se colapse. (Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages, 2021)<sup>xxii</sup>

## 1.20 Las Cadenas

### 1.20.1 ¿Qué es una cadena?

Una cadena es un componente fiable de la máquina, que transmite potencia mediante fuerzas de tracción y se utiliza principalmente para sistemas de transmisión y transporte de potencia. La función y los usos de la cadena son similares a los de un cinturón. Hay muchos tipos de cadena. Es conveniente clasificar los tipos de cadena por material de composición o método de construcción. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

### 1.20.2 Tipos de cadenas

Además de los tipos estándar de rodillos y dientes invertidos, una amplia variedad de cadenas de transmisión de construcción diferente está disponible. Estas cadenas se fabrican con diversos grados de precisión que va desde fundiciones o forjas sin terminar hasta cadenas que tienen ciertos mecanizados partes. Prácticamente, todas estas cadenas, así como las cadenas de rodillos estándar, pueden equiparse con aditamentos para adaptarlos al uso del transportador. Algunos de estos tipos se describen brevemente a continuación. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

#### 1.20.2.1 Cadenas Desmontables

Los eslabones de este tipo de cadena, que son idénticas, son fácilmente desmontables. Cada uno tiene un extremo en forma de gancho en el que la barra del eslabón adyacente articula, estas cadenas están disponibles en hierro maleable o acero prensado. La principal ventaja es la facilidad con la que se puede eliminar cualquier vínculo. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

#### 1.20.2.2 Cadenas de rodillos fundidos

Las cadenas de rodillos fundidos están construidas, en su totalidad o en parte, de metal fundido. Partes y están disponibles en varios estilos. En general, los rodillos y las barras laterales son exactamente fundición realizada sin acabado a máquina. Los enlaces suelen estar conectados por medio de forja. Pasadores asegurados

con tuercas o chavetas. Estas cadenas se utilizan para velocidades lentas y cargas moderadas, o donde no se requiere la precisión de las cadenas de rodillos estándar. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

### 1.20.2.3 Cadenas de pivote

A diferencia de la cadena de rodillos, la cadena de pivote se compone de cilindros de núcleo hueco. Forjados integralmente o fundidos con dos barras laterales desplazadas y cada eslabón idéntico. Los enlaces se unen mediante pasadores insertados en orificios en los extremos de las barras laterales y a través de los orificios tubulares en enlaces adyacentes. Las orejetas evitan que los pasadores se tuerzan en las barras laterales, asegurando la articulación de la cadena entre el pasador y el cilindro con núcleo. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

### 1.20.3 Tipo de material para las cadenas

Podemos clasificar el material de las cadenas en cinco tipos:

- ❖ Cadena de hierro fundido
- ❖ Cadena de acero fundido
- ❖ Cadena forjada
- ❖ Cadena de acero
- ❖ Cadena de plástico

La demanda de los primeros tres tipos de cadenas ahora está disminuyendo; solo se utilizan en algunas situaciones especiales. Por ejemplo, la cadena de hierro fundido es parte del equipo de tratamiento de agua; La cadena forjada se utiliza en transportadores aéreos para fábricas de automóviles. (Jones, 2022)<sup>xxiv</sup>

### 1.20.4 Usos típicos de la cadena

#### 1.20.4.1 Grado 30

El grado 30 se considera una cadena de uso general que se puede utilizar para una variedad de aplicaciones. Estas aplicaciones no requieren una resistencia extremadamente alta. El grado 30 es el tipo de cadena menos fuerte. Según el tamaño del diámetro de la cadena, puede soportar un límite de carga de trabajo de

entre 1300 y 6900 lb. (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

Si alguna vez se ha preguntado qué es una cadena de bobina de prueba, debe saber que el grado 30 se conoce comúnmente como cadena de bobina de prueba o cadena de bobina común y está compuesto de acero al carbono de baja resistencia. Este tipo de acero es bastante maleable y resistente a la oxidación, pero no son tan fuertes como otros tipos de aleaciones. También es menos costoso que las cadenas con alto contenido de carbono o acero inoxidable. (Elite Sales Inc, 2022)<sup>xxvi</sup>

#### **1.20.4.1.1 Tipos de aplicaciones de la cadena de grado 30**

- ❖ Construcción ligera
- ❖ Aseguramiento de plomo
- ❖ Barandillas
- ❖ Uso agrícola
- ❖ Industria marina

Es importante tener en cuenta que las cadenas industriales de grado 30 no deben usarse para elevadores de techo, puesto que su límite de carga de trabajo es demasiado bajo. Se pueden utilizar como cadenas de madera. (Elite Sales Inc, 2022)<sup>xxvi</sup>

#### **1.20.4.2 Grado 43**

Por lo general, se utiliza para la seguridad de contenedores, la tala, la agricultura, el remolque, las aplicaciones marinas y como cadena de servicios públicos de uso general. (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

#### **1.20.4.3 Grado 70**

Fabricado con acero al carbono tratado térmicamente de mayor resistencia que tiene una clasificación de carga aproximadamente un 20 por ciento más alta que el grado 43. El acabado de cromo dorado hace que sea fácil de reconocer para los funcionarios del DOT. Por lo general, lo utilizan camioneros, madereros y cuadrillas

de carreteras para asegurar y remolcar cargas. (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

#### **1.20.4.4 Grado 80**

Una cadena de aleación tratada térmicamente de alta resistencia que se puede usar como componente de eslinga para levantamiento por encima de la cabeza, así como también como cadena de remolque de servicio pesado. La opción más económica que es adecuada para la elevación por encima de la cabeza. (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

#### **1.20.4.5 Grado 100**

Una cadena de aleación de alta resistencia tratada térmicamente. Se utiliza principalmente como componente de eslinga para elevación por encima de la cabeza. Tiene aproximadamente un 25 por ciento más de resistencia que el grado 80. Popular en aplicaciones de construcción, fabricación y aparejos. (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

#### **1.20.4.6 Grado 120**

Una cadena ultra-Premium de alta resistencia diseñada específicamente para los rigurosos requisitos de las aplicaciones de elevación por encima de la cabeza. Los eslabones tienen una forma cuadrada única y tienen aproximadamente un 50 % más de resistencia en comparación con el grado 80. Actualmente, no existen estándares oficiales para la cadena de grado 120 en EE. UU. o Europa; sin embargo, cumple o supera los estándares de la cadena de grado 100. Los diámetros para los grados de las cadenas se pueden observar en la Tabla 9 (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>

Los diámetros especificados para distintos diámetros de cadenas se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9 Límites de carga de trabajo de la cadena (lbs) (Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain, 2021)<sup>xxv</sup>**

Chain diameter	Grade 30	Grade 43	Grade 70	Grade 80	Grade 100	Grade 120
1/4"	1300	2600	3150	3500	4300	-
9/32"	-	-	-	-	-	5200
5/16"	1900	3900	4700	4500	5700	6600
3/8"	2650	5400	6600	7100	8800	10600
7/16"	3700	7200	8750	-	-	-
1/2"	4500	9200	11300	12000	15000	17900
5/8"	6900	13000	15800	18100	22600	-

## 1.21 Eslabones

Un eslabón es un cuerpo rígido que posee al menos dos nodos, siendo estos los puntos de unión con otros eslabones, el número de nodos le da su nombre al eslabón. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

### 1.21.1 Tipos de eslabones

- ❖ Binario= Dos nodos.
- ❖ Ternario= Tres nodos.
- ❖ Cuaternario= Cuatro nodos.

### 1.21.2 Par cinemático

Llamamos par cinemático, a la conexión entre dos o más eslabones, la cual permite algún movimiento o movimiento potencial entre los eslabones conectados, también se le denomina junta, y se representa con letras. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

### 1.21.3 Los partes pueden clasificarse de varios modos

- ❖ Por el número de grados de libertad (GDL).
- ❖ Por el tipo de contacto entre los elementos.
- ❖ Por el tipo de cierre del par cinemático.
- ❖ Por el número de eslabones conectados u orden del par cinemático. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

### **1.21.3.1 Mecanismo**

Es una cadena cinemática en la cual por lo menos un eslabón ha sido fijado o sujetado al marco de referencia (el cual puede estar en movimiento). (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

### **1.21.3.2 Máquina**

Es una combinación de eslabones o cuerpos resistentes dispuestos para hacer que las fuerzas mecánicas de la naturaleza realicen un trabajo, siguiendo unos movimientos determinados. Como consecuencia de lo anterior, también podríamos definirla, como un conjunto de mecanismos dispuestos para transmitir fuerzas y realizar trabajo. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

### **1.21.3.3 Elemento fijo**

Son aquellos eslabones (o eslabón) que estén sujetos en el espacio, sin movimiento en relación con el marco de referencia, se representa con la letra O. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

## **1.22 Materiales para eslabones de cadenas**

De acuerdo al material con el que se elaboran los eslabones de cadenas se pueden clasificar en cinco tipos: cadenas e hierro fundido; cadenas de acero de molde; cadenas forjadas; cadenas de acero; y cadenas plásticas. Ningún otro material tiene la misma combinación, resistencia, maleabilidad y versatilidad como el acero. (Sánchez Sánchez, 2008)<sup>xxvii</sup>

## **1.23 Herramientas computacionales (software)**

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático. Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes pueden crearse directamente desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura (estereolitografía) manufactura sin papeles, Otra ventaja de este tipo de base de datos es que permite cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de

masa. Del mismo modo, pueden obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos. Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, SolidWorks y ProEngineer, sólo por mencionar algunos. (Budynas, Richard G. Nisbett, 2014) & (Erwing, s/f)<sup>xxviii</sup>

### 1.23.1 SolidWorks

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente, todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. (SolidBi,2021)<sup>xxix</sup>

Comprendiendo la relación entre el diseño y la manufactura, como profundizando en el arte del doblado y los elementos involucrados en el desarrollo de una máquina, así como el entendimiento de los conocimientos en materiales, podemos entender la clasificación de los materiales y visualizar las propiedades, ventajas y funciones de sus posibles utilidades.

Con base a la investigación anterior se pretende desarrollar un prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, siendo este tipo de dobladora un diseño original, práctico y de los más sencillos utilizados para generar de manera manual eslabones de cadena, este prototipo será de bajo costo y sencillo de manufacturar, y tiene como objetivo ser utilizado en modelo de aprendizaje y su mantenimiento será mínimo. Basándose en la recopilación de información sobre los procesos de manufactura para dobladoras, se determinó que las máquinas dobladoras son elementos esenciales en la industria y uno de los equipos más antiguos utilizados

en diversos procesos estos pueden poseer la habilidad de doblar tubos o láminas, así como diversos materiales, de acuerdo con la manufactura que se conoce como la aplicación de diversos procesos físicos y químicos para poder alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material, las máquinas diseñadas para la creación de diversos productos o piezas son esenciales en la evolución de las tecnologías. La manufactura se encuentra en constante unión con el diseño para realizar procesos que involucran unas combinaciones de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. El prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena que se pretende diseñar y manufacturar debe estar sujeto a los principios del diseño y la manufactura, tal y como poseer una secuencia de operaciones, sentido económico, conocimiento de los materiales y la definición de las capacidades de la máquina. El material ideal con el que será realizado será el acero 4140, puesto que este tipo de material es resistente, es un acero de baja aleación de la serie Cr-Mo, templabilidad, buena tenacidad, perfecto para el ambiente donde será utilizado, sus propiedades lo hacen un material con varias utilidades y es comúnmente utilizado en las industrias para realizar diferentes tipos de piezas mecánicas. El prototipo se diseñará con y analizará con ayuda del software SolidWorks.

# **CAPÍTULO 2**

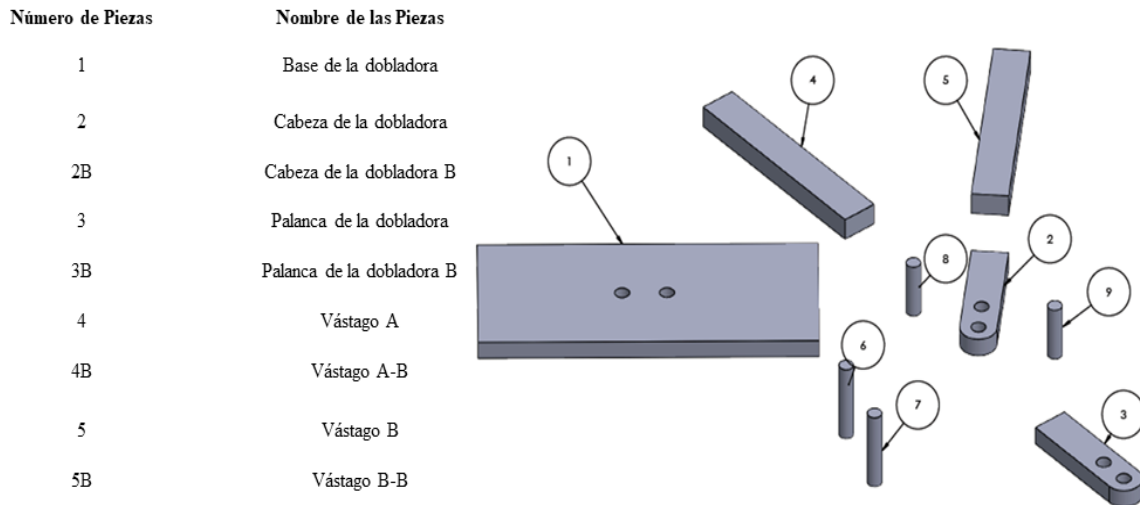
## 2.1 DISEÑO DE LA DOBLADORA DE ESLABONES DE CADENAS

La máquina dobladora de eslabones de cadena se diseñará y manufacturará con las características de una máquina dobladora que tenga la funcionalidad de formar cadenas, el diseño permite manejar un proceso fijo y equilibrado en conocimiento y manufactura, también su diseño es uno de los más antiguos y con bajos costos, con esta máquina dobladora se fabricarán cadenas que se utilizarán para diferentes fines académicos y para sujetar diferentes máquinas o piezas, cabe señalar que su mantenimiento es muy práctico y demasiado rápido lo cual permite ahorrar el tiempo de manufactura en las cadenas. La dobladora consta de 5 elementos principales que son la base, las cabezas, los vástagos A y B, las palancas que en total conforman 9 piezas, ver en la Fig. 23. Cabe destacar que el proceso de manufactura que se propone para obtener las piezas será mediante remoción de material (Torneado, Fresa y Taladrado) y control numérico computarizado (CNC) dado que se realizaron piezas pequeñas y perforaciones en puntos específicos, y se aplicaran otros procesos de manufactura como el acabado de superficies, soldadura y ensamble.

Cabe destacar que al diseñar la máquina dobladora fue necesario realizar los cálculos pertinentes para obtener un diseño óptimo y determinar las dimensiones correctas para elaborar las cadenas y evitar alguna falla en la dobladora, considerando la geometría del diseño y el orden en que se conforma las piezas que forma la dobladora se pudo determinar las dimensiones necesarias y replicar el diseño que previamente se realizó en el software SolidWorks, estos procesos permitieron satisfacer las dimensiones, tolerancias y acabado superficial ya establecido en el diseño de la dobladora de eslabones de cadena. La máquina dobladora de eslabones de cadena de cadenas que se utiliza de forma manual requiere que se utilice la fuerza muscular para curvar el material, el cual utiliza la fuerza ejercida por un humano mediante unas palancas que permiten generar el torque necesario para doblar manualmente formando las cadenas.

En la Fig. 23 se muestran un total de 9 piezas que integraran la dobladora de eslabones de cadena, donde estas piezas fueron diseñadas en el software de

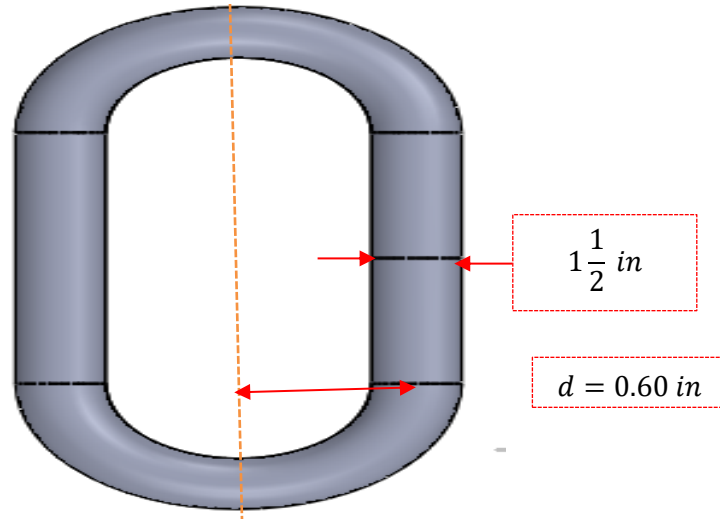
SolidWorks tomando a consideración los cálculos pertinentes para poder obtener un óptimo desempeño de la dobladora.



**Fig. 23: Piezas de la máquina dobladora de eslabones de cadena.**

Paralelamente, se determinaron las dimensiones de los elementos de la dobladora, fue necesario los cálculos para poder dimensionar las palancas y los vástagos, los cálculos que se realizaron fueron de la resistencia máxima del material con base al espesor, se calculó la fuerza de dobles de un alambrión de  $\frac{1}{4}$ , en el que se consideró el esfuerzo máximo y el diámetro. Es importante señalar que para dichos parámetros fue necesario determinar las fuerzas máximas de tensión y compresión en la parte de recta de un eslabón, un par de flexión  $M$  de magnitudes y la distancia entre el eje centroidal y el eje neutro de sección transversal, tal y como se describen en las ecuaciones 1,2,3,4,5,6,7,8 y 9.

La cadena de eslabones abiertos se obtendrá doblando varillas de alambrión de  $\frac{1}{4}$  in en su diámetro, la cadena llevará una carga aproximada de 160 lb determinaremos. Podemos observar en la Fig. 24 un eslabón de la cadena.



**Fig. 24: Eslabón de Alambroń A36.**

Las fuerzas internas en la sección transversal son equivalentes a una fuerza céntrica  $P$  y un par de flexión  $M$  de magnitudes.

$$P = 160 \text{ lb}$$

$$M = Pd = (160 \text{ lb})(0.60 \text{ in}) = 96 \text{ lb} * \text{in} \text{ (1)}$$

La distribución debida a la fuerza céntrica  $P$  es uniforme e igual a  $\sigma_0 = \frac{P}{A}$

$$A = \pi c^2$$

$$A = \pi \left(1 \frac{1}{2} \text{ in}\right)^2 = 0.7854 \text{ in}^2 \text{ (2)}$$

$$\sigma_0 = \frac{P}{A} = \frac{160 \text{ lb}}{0.7854 \text{ in}^2} = 203.7179 \text{ Psi} \text{ (3)}$$

La distribución debida al par de flexión  $M$  es lineal con un esfuerzo máximo  $\sigma_m = \frac{Mc}{I}$  (5)

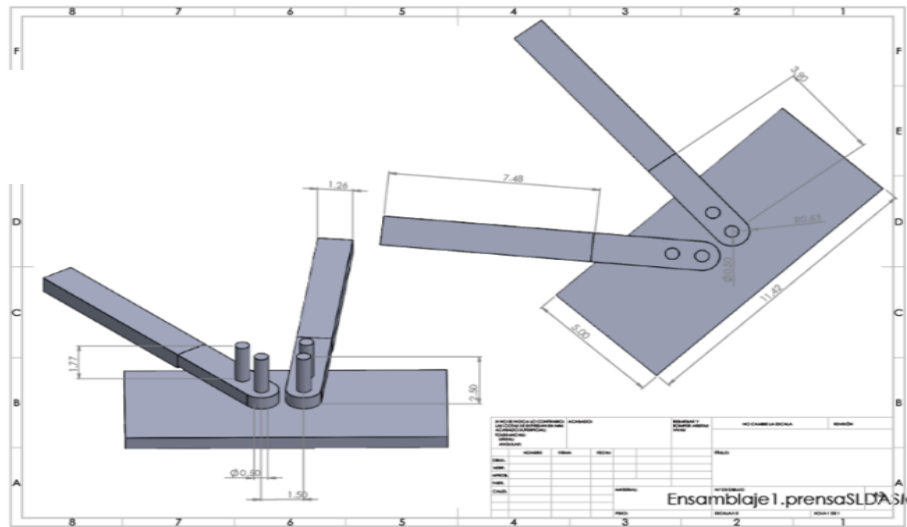
Donde despejando la ecuación (5) se obtiene I:

$$I = \frac{1}{4} \pi \left(1 \frac{1}{2}\right)^4 = 0.0491 \text{ in}^4 \text{ (4)}$$

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} = \frac{(96 \text{ lb} * \text{in}) \left(1 \frac{1}{2} \text{ in}\right)}{0.0491 \text{ in}^4} = 977.5967 \text{ Psi} \text{ (5)}$$



cada una de las partes que componen al prototipo para poder diseñarlas, al terminar de realizar el diseño podemos visualizar los datos de entrada de la dobladora tal como se observa en la Fig. 25, a partir de los datos de entrada se podrá obtener los cálculos correspondientes para determinar la geometría adecuada para las cadenas, tal y como se muestra en la Fig. 26.



**Fig. 26: a) Medidas de la dobladora. b) Vista isométrica de la dobladora.**

En la Tabla 10 se muestran las dimensiones del prototipo de la máquina dobladora de eslabones de cadena, donde se pueden observar las características geométricas de cada una de las piezas para considerarlos como valores guía, podemos observar las proporciones de una manera más detallada en las figuras Fig. 27, Fig. 28, Fig. 29, Fig. 30, Fig. 31.

**Tabla 10 Dimensiones de las piezas del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena.**

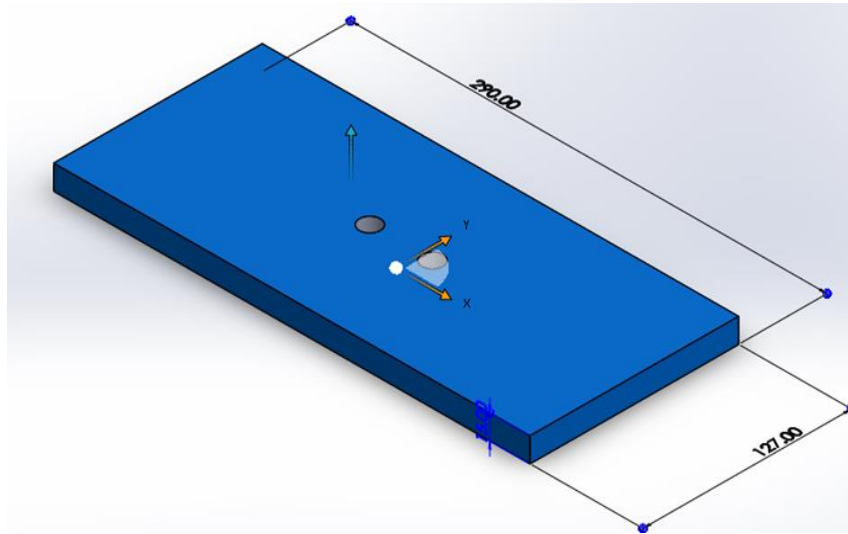
<b>Piezas</b>	<b>Medidas</b>
Distancia de los agujeros de la cabeza	38.1mm
Agujeros de la cabeza	12.7mm
Base largo y ancho	290 mm-127mm
Largo de la cabeza	115 mm
Espesor de la cabeza	15 mm
Ancho de la cabeza	32 mm
Palanca	190 mm largo y 32 mm de ancho
Vástago A	12.7 mm de diámetro y 63.5 mm de altura
Vástago B	12.7 mm de diámetro y 45 mm de altura

## **2.2 Elementos que conforman a la dobladora de eslabones de cadenas**

Teniendo formadas cada una de las piezas que conforman la dobladora de eslabones de cadena, de acuerdo con el diseño podemos proceder a caracterizar estos elementos donde observamos sus medidas y formas desde una perspectiva isométrica.

### **2.2.1 Base de la Dobladora**

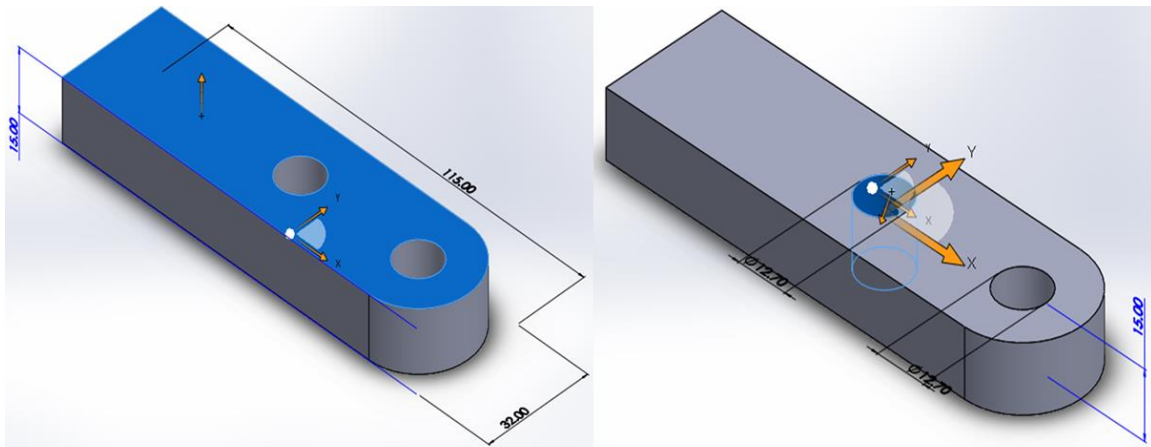
En la Fig. 27 se muestra la vista isométrica de la base donde podemos observar cada una de sus dimensiones, su espesor es de 15 mm, mientras que las perforaciones en el centro de la base contienen una profundidad en el barrenado de 12.7 mm de diámetro, las dos perforaciones tienen una distancia de 38.1 mm, el largo de la base es de 290 mm y el ancho de 127 mm.



**Fig. 27:** Base de la prensa se muestra su vista isométrica y medidas.

### 2.2.2 Cabezas de la Dobladora

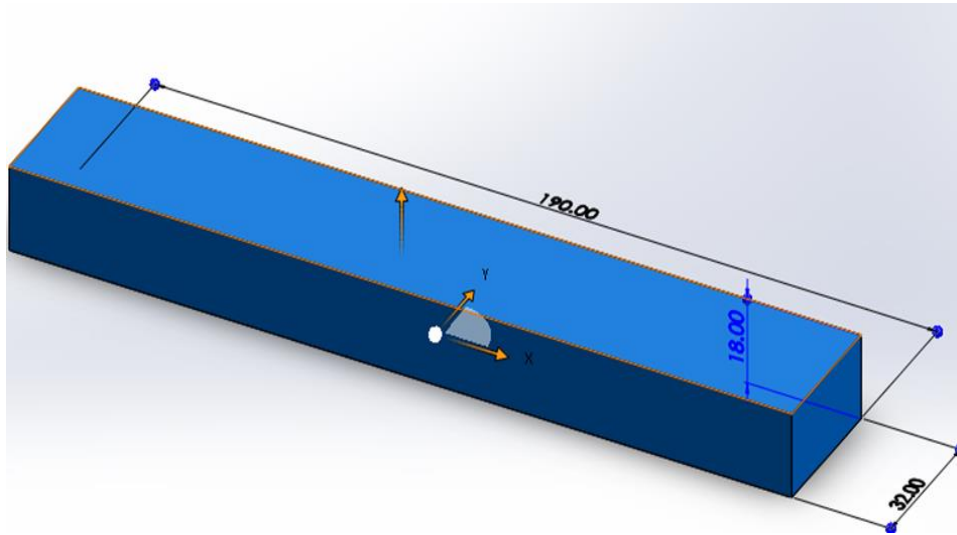
En la siguiente Fig. 28 se muestra la vista isométrica de las cabezas de la dobladora, donde podemos observar cada una de sus dimensiones con un espesor de 15 mm, contiene una profundidad en sus perforaciones de 12.7 mm de diámetro y la distancia entre las perforaciones es de 12.7 mm, el largo de la cabeza 115 mm y el ancho 32 mm.



**Fig. 28:** Cabezas de la prensa se muestra su vista isométrica y dimensiones.

## 2.2.3 Palancas de la Dobladora

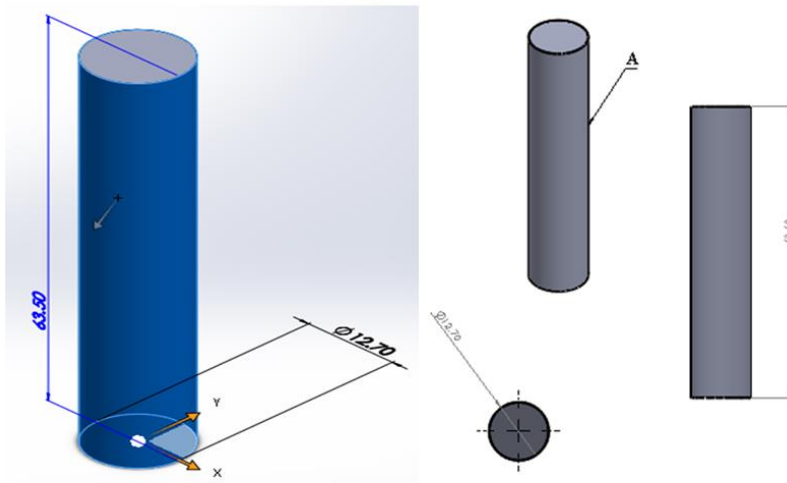
En la siguiente Fig. 29 se muestra la vista isométrica de las palancas de la dobladora, las dimensiones que se muestran son las siguientes, su espesor es de 18 mm, mientras que el largo de la palanca 190 mm y el ancho 32 mm.



**Fig. 29: Palancas de la dobladora se muestra su vista isométrica y medidas.**

## 2.2.4 Vástagos A

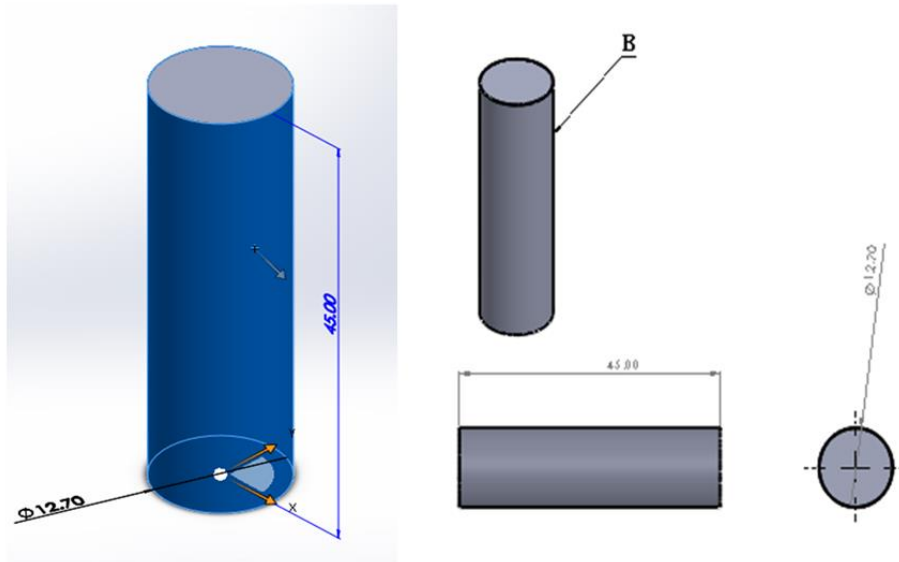
En la Fig. 30 se muestra la vista isométrica del vástago A sus dimensiones son siguientes, tiene un diámetro de 12.7 mm y su altura es de 63.5 mm.



**Fig. 30: Vástago A se muestra su vista isométrica y medidas.**

## 2.2.5 Vástagos B

En la Imagen se muestra la vista isométrica del vástago B y sus dimensiones tienen un diámetro de 12.7 mm y una altura de 45mm, tal y como se observa en la Fig. 31.



**Fig. 31: Vástago B se muestra su vista isométrica y medidas.**

Una vez teniendo diseñada cada una de las partes del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, en total son 9 piezas que conforman el prototipo, de las cuales se puede resumir en 5 piezas principales, que son, la base, cabeza, palanca, vástago A y vástago B.

Con base a lo anterior se propone el diseño del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena la cual está constituida por 9 elementos (1 base, 2 cabezas, 2 palancas y 2 vástagos los cuales se dividen en los grupos A y B), los cuales fueron fabricados de Acero 4140 este material fue específicamente seleccionado para adaptarse a los requerimientos preestablecidos para la utilización del prototipo, para establecer el diseño de estos elementos se realizaron cálculos que permitieron encontrar las bases para instituir las medidas correspondientes y satisfacer las dimensiones, tolerancias, ya establecidas en el diseño de la dobladora de eslabones de cadena. Cada uno de los elementos que se diseñaron tiene como objetivo poder ser ensamblados y modificados si se requiere un mejoramiento para el prototipo, las

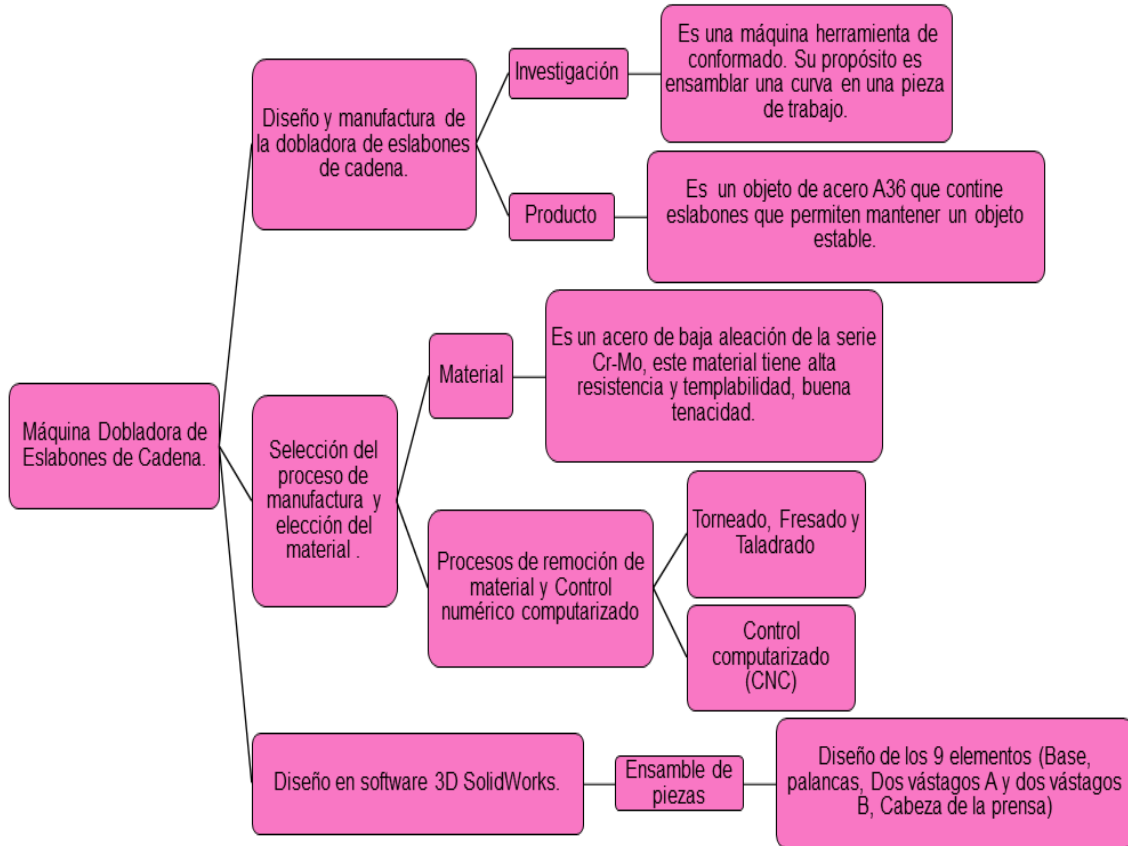
características del diseño de las partes de la dobladora se formularon pensando en la versatilidad y factibilidad del manejo práctico propuesto para un sistema de aprendizaje en elementos de máquina. Los elementos del prototipo se realizaron en software 3D SolidWorks para visualizar el funcionamiento de los elementos, este modelo a escala de los elementos del prototipo permite visualizar un diseño práctico y eficiente.

# **CAPÍTULO 3**

### 3.1 PROCESO DE MANUFACTURA

El proceso de manufactura del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena que se seleccionó para fabricar cada una de las piezas que conformarán la dobladora, es el proceso de remoción de material (Torno, Fresa y Taladrado) y Control Numérico Computarizado (CNC), también se utilizarán diferentes máquinas como cortadoras, seguetas mecánicas, esmeriladoras, buriles y brocas, el proceso inicia con un diseño total de 9 piezas, dos cabezas de la prensa, 4 vástagos de 12.7 mm de diámetro, dos palancas y una base. El proceso para obtener la geometría correcta para manufacturar la prensa curvadora de cadenas debe considerar las RPM a las que se someterá el material en las diferentes operaciones de remoción de materiales y acabado de superficies, soldadura y ensamble. Después de lo anterior expuesto del diseño, el proceso se dividirá en 4 etapas en donde se realizarán las partes principales de la prensa, también se examinarán las velocidades de remoción de material en los 4 tipos de procesos de maquinados que se utilizarán para su elaboración.

En el Diagrama 3 podemos observar la muestra de la metodología experimental del prototipo para diseñar y manufacturar una máquina dobladora de eslabones de cadena este proceso se divide en tres etapas principales las cuales a su vez cuentan con subdivisiones, la primera que corresponde al diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena, la segunda se caracteriza por la selección del proceso de manufactura y elección del material, en la tercera etapa se muestra la realización del diseño en software 3D SolidWorks, en las subdivisiones se muestran los procesos, se identifican las propiedades del material, se dibuja un modelo a escala del prototipo en un software y se determina los antecedentes para un diseño eficiente.



**Diagrama 3: Metodología del proceso de diseño y manufactura.**

### 3.2 ETAPA I: Diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena

Esta sección se divide en dos etapas las cuales se llaman dobladora y cadenas, el contenido de estas etapas presenta la preparación y la metodología experimental que se utilizó para diseñar la dobladora y las características esenciales para generar un producto como las cadenas.

#### 3.2.1 Investigación

Antes de iniciar con el maquinado, se investigó sobre los tipos de dobladora y la utilidad de cada una de ellas, así como los procesos de manufactura que se requieren para elaborarlas, se tomaron en cuenta las medidas estandarizadas para generar una dobladora manual que puede ser utilizada como sistema de aprendizaje.

### **3.2.2 Producto**

Para la realización de las cadenas se indagó sobre la elaboración de las cadenas, su proceso de maquinado, el grado de las cadenas y su posible utilidad para determinar su resistencia y elaborar los cálculos correspondientes para dimensionar las cadenas, se consideró el esfuerzo máximo, el diámetro, la tensión y compresión, también la distancia entre los ejes centroidales y el eje neutro de sección transversal.

### **3.3 ETAPA II: Selección del proceso de manufactura y elección del material**

Para la realización del proceso de manufactura se investigó sobre las propiedades de diferentes materiales, la factibilidad de su proceso de manufactura, la viabilidad de su elaboración y la capacidad para adaptarse a las condiciones de uso que enfrentará el prototipo de la dobladora y se subdividió el proceso en dos etapas las cuales se denominaron como Acero 4140 y procesos de remoción de material y control numérico computarizado.

#### **3.3.1 Material**

Esta sección se presenta el material utilizado para elaborar la máquina dobladora de eslabones de cadenas, se seleccionó el Acero 4140 por ser un acero de baja aleación, alta resistencia y templabilidad, además de tener una buena tenacidad.

#### **3.3.2 Procesos de remoción de material y Control numérico computarizado**

El proceso de manufactura que se propuso para obtener el prototipo fue mediante la remoción de material y las operaciones de maquinado, como torneado, fresado y barrenado, además de la utilización de máquinas CNC, también se aplicaron otros procesos como soldadura y ensamble.

### **3.4 ETAPA III: Dibujo del diseño en software 3D SolidWorks**

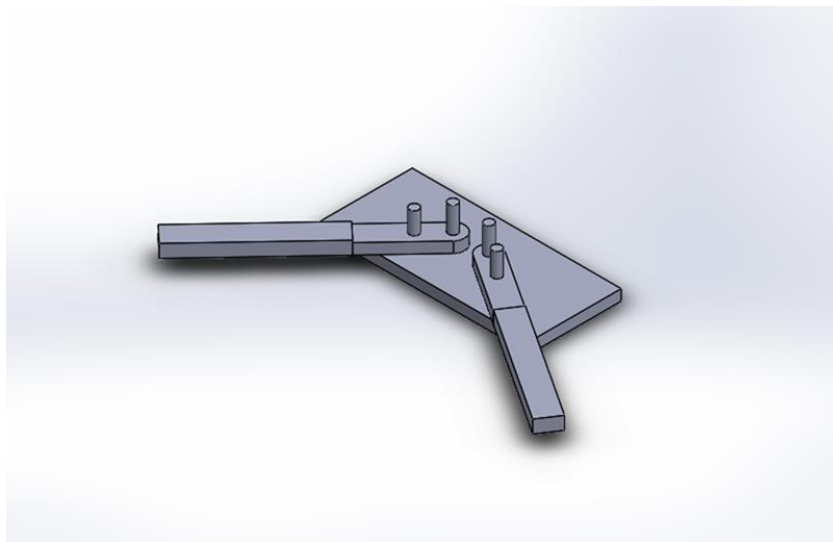
En la tercera etapa se muestra el proceso de diseño donde se determinaron las dimensiones y se establecieron las profundidades de perforación en las piezas, el diseño se planteó en un conformado de 9 elementos, esta etapa contiene una subdivisión que se denominó ensamble de piezas.

### 3.4.1 Ensamble de piezas

Para generar un prototipo físico se utilizó el principio básico del diseño, utilizar una herramienta que permita plasmar el prototipo, en este caso se utilizó un software en 3D que permitiera dibujar a escala la dobladora, simulando su funcionamiento y propiedades, donde se plasmaran las características principales del diseño como el número de piezas, las medidas y su peso, como resultado se obtuvo un dibujo en SolidWorks conformado por 9 elementos de los cuales existen 4 principales (Base, palancas, Dos vástagos A y dos vástagos B, Cabeza de la prensa).

### 3.5 Manufactura de piezas de la dobladora de eslabones de cadenas

Para iniciar el proceso de manufactura es importante partir por el diseño generando un modelo que permita visualizar la idea principal de lo que se busca construir por ejemplo el prototipo de la dobladora, el segundo paso en el proceso de manufactura es determinar el material a utilizar que en este proyecto se utilizara el acero 4140 debido a sus propiedades, para llegar a obtener un producto se debe trabajar en el maquinado de cada uno de los elementos que constituirán este prototipo, tal y como se observa en la Fig. 32.

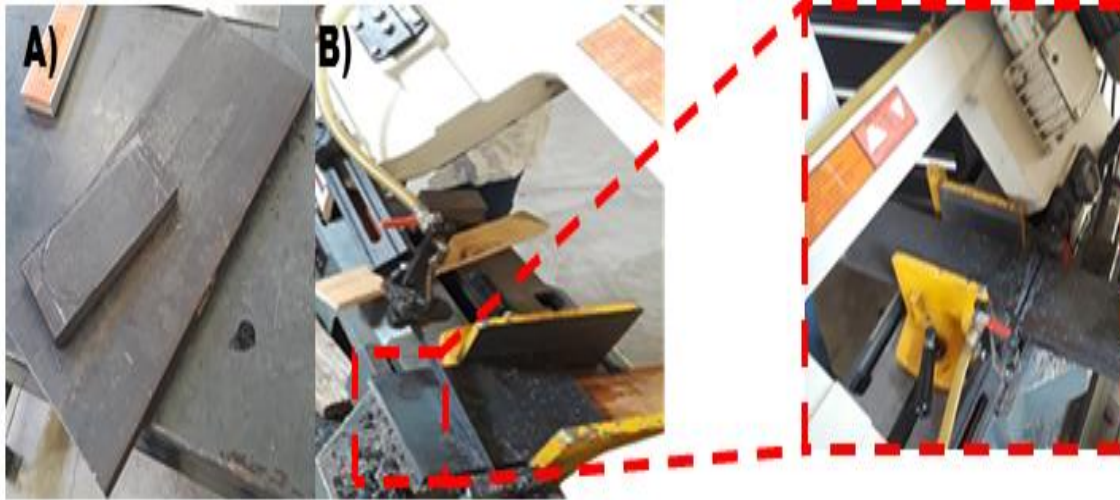


**Fig. 32: Diseño en 3D de la dobladora de eslabones de cadena.**

#### 3.5.1 Base de la Dobladora

Iniciando con el proceso de manufactura de la dobladora de eslabones de cadenas, se empezó a trabajar con la base de la dobladora donde se compraron dos placas

de Acero 4140 con las siguientes medidas con un espesor de 15mm, 290 mm de largo y 127mm de ancho, una de estas placas se utilizará como base mientras que la otra será para fabricar las cabezas, tal y como se muestra en la Fig. 33.



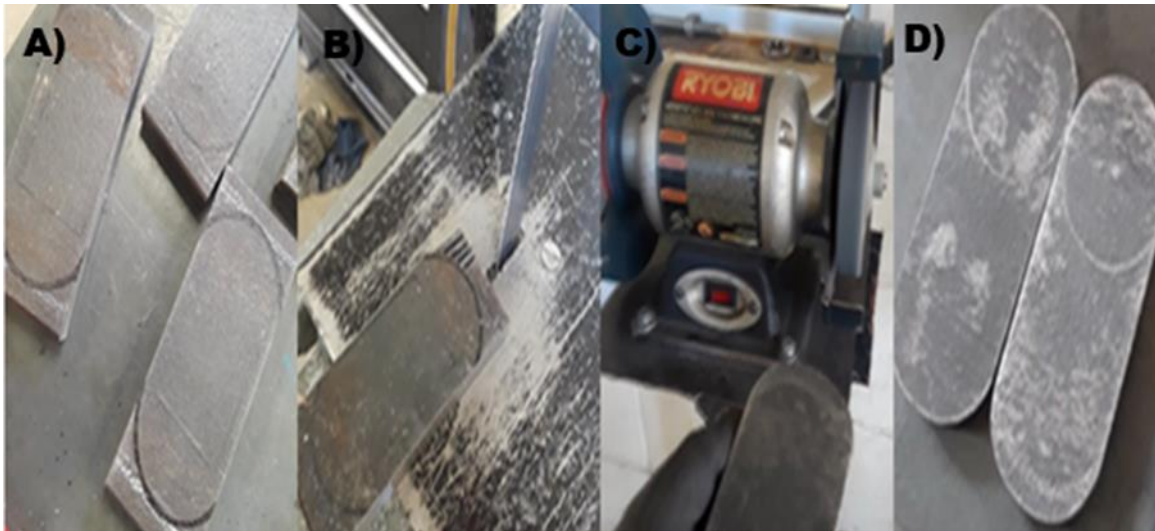
**Fig. 33: A) Placa de Acero 4140. B) Corte de la placa en dos partes.**

Cuando tenemos la base lista podemos proceder con la ejecución del barrenado la cual tendrá una profundidad y el diámetro del barrenado será de 12.7 mm, se procedió a utilizar la broca de centro y después utilizar una broca de filos múltiples de 12.7mm para poder barrenar, la distancia de las perforaciones en la placa será de 38.1 mm.

### **3.5.2 Cabezas de la Dobladora**

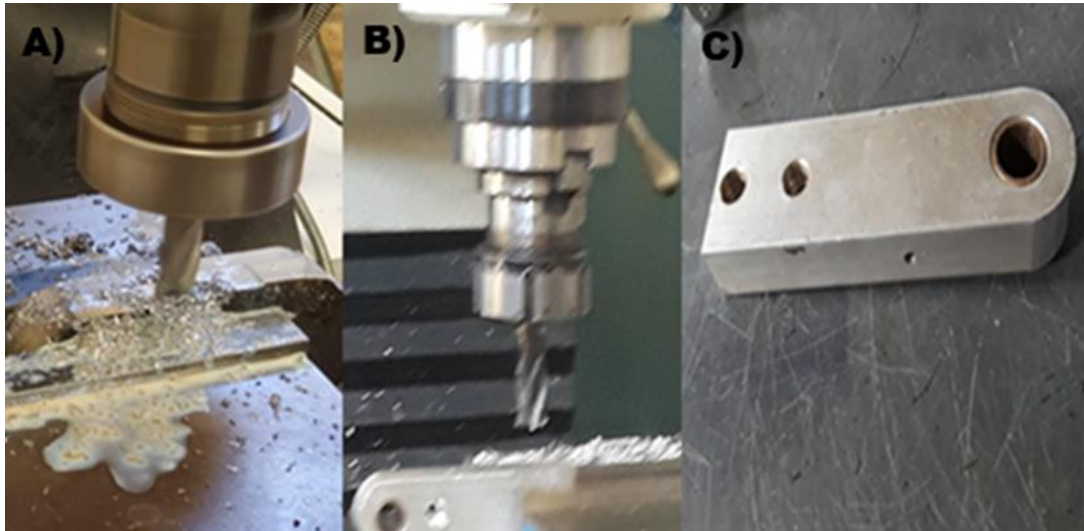
De tal manera que se realizó el diseño de la base de la dobladora se procedió al diseño de las cabezas de la dobladora, en el siguiente procedimiento se procedió a cortar la placa de acero 4140 en dos pequeñas secciones con las siguientes dimensiones 32 mm de ancho y 115 mm de largo para este procedimiento se utilizó la sierra mecánica una herramienta eficiente en la cual debemos mantener precauciones, se cortaron secciones pequeñas de manera vertical con un espacio aproximado para el corte antes del ángulo de 1 cm de distancia, Se debe mantener a la pieza vertiendo el refrigerante para evitar que esta pueda dañarse, en el siguiente paso se trabajó con la esmeriladora para poder moldear el ángulo y dejar

la pieza en un acabado satisfactorio siempre manteniendo la pieza en constante enfriamiento, tal y como se muestra en la Fig. 34.



**Fig. 34: A) Marcado del corte en ángulo para las cabezas de acero 4140. B) Proceso de corte. C) Proceso de esmerilado. D) finalización de las cabezas.**

Por consiguiente, se determinó que el proceso de manufactura siguiente sería el barrenado para obtener los centros y lograr los ejes que permiten formar las cadenas a través de los cálculos obtenidos para su óptimo desempeño, en el siguiente paso se procedió a realizar un círculo el centro de la pieza donde se utilizó un martillo y el punzón para marcar el centro donde estará la primera perforación de la cabeza la cual tiene un diámetro de 12.7 mm, para dar inicio con el maquinado en la fresadora CNC primero se percató que la pieza se encuentre firmemente colocada en la prensa, en la siguiente operación se utiliza el barrenado para perforar las cabezas de la dobladora primero realizamos una perforación en el centro y luego se realiza una segunda perforación a una distancia de 12.7 mm, tal y como se observa en la Fig. 35.



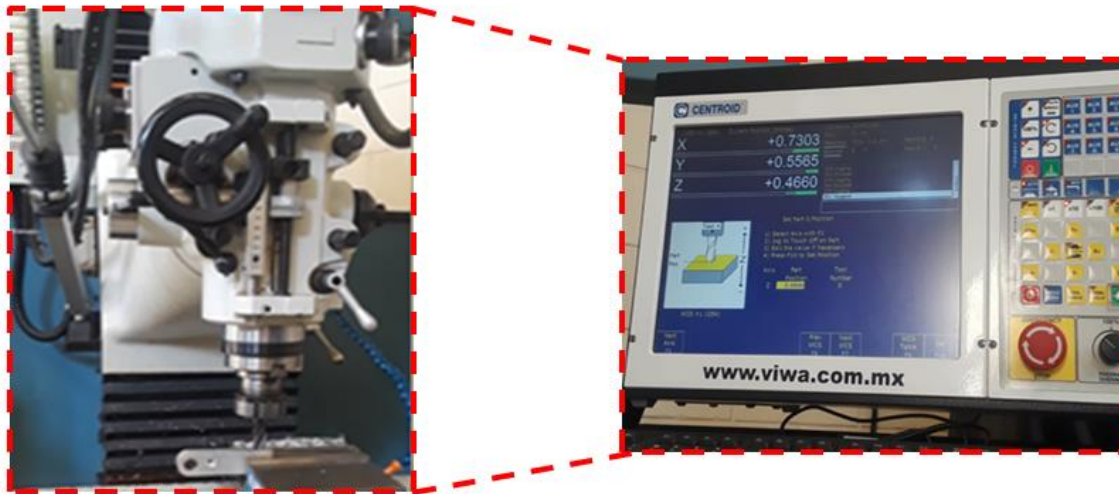
**Fig. 35: A) careado de cabezas. B) proceso de aplanamiento. C) Manufactura de cabezas.**

### 3.5.3 Palancas de la Dobladora

Una vez teniendo diseñadas las cabezas de la dobladora se puede proceder a diseñar las palancas que estarán sujetas a las cabezas para generar la fuerza de rotación, se cortaron dos palancas de una medida de 190 mm de largo y 32 mm de ancho las tienen como objetivo permitir el apoyo necesario para generar la fuerza correspondiente para curvar el material de las cadenas. Para proceder a determinar las medidas de las palancas se realizaron los cálculos pertinentes que se muestran en las páginas 75-76, los cálculos que se realizaron fueron para calcular la fuerza de dobles de un alambión de  $\frac{1}{4}$ , en el que se consideró el esfuerzo máximo y el diámetro, también se determinaron las fuerzas máximas de tensión y compresión en la parte de recta de un eslabón, un par de flexión  $M$  de magnitudes y la distancia entre el eje centroidal y el eje neutro de sección transversal.

De igual manera en el paso siguiente se procedió a utilizar la fresadora CNC para poder generar un corte a las cabezas que permita ajustar las palancas para proceder a soldarlas, para el fresado de Acero 4140, se tomaron en cuenta los distintos acabados superficiales y las operaciones que se deben realizar. Como se muestra en la Imagen donde se observa un fresado de corte, la fresadora se debe programar en las direcciones correspondientes, en esta pieza trabajara en las tres

direcciones x, y, z, debemos tener precaución al programar la dirección y profundidad del careado en la pieza, tal y como se muestra en la Fig. 36.

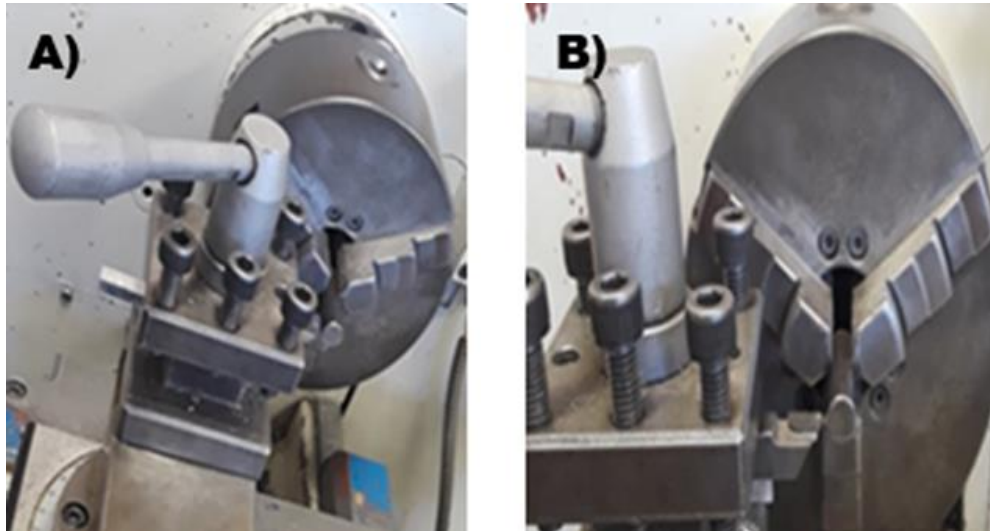


**Fig. 36: Proceso computarizado de remoción de material.**

### 3.5.4 Vástagos A

Al finalizar el diseño de las cabezas se puede trabajar en el diseño de los vástagos, en este paso se iniciará con el diseño del vástago A que se empleará para mantener anclada la cabeza a la base de la dobladora, también se utilizarán los cálculos pertinentes mostrados en las páginas 58 y 59, las medidas del cuerpo del vástago roscado son las siguientes tiene de un diámetro de 12.7 mm y su altura es 63.5 mm estas dimensiones se pueden apreciar en la Fig. 30.

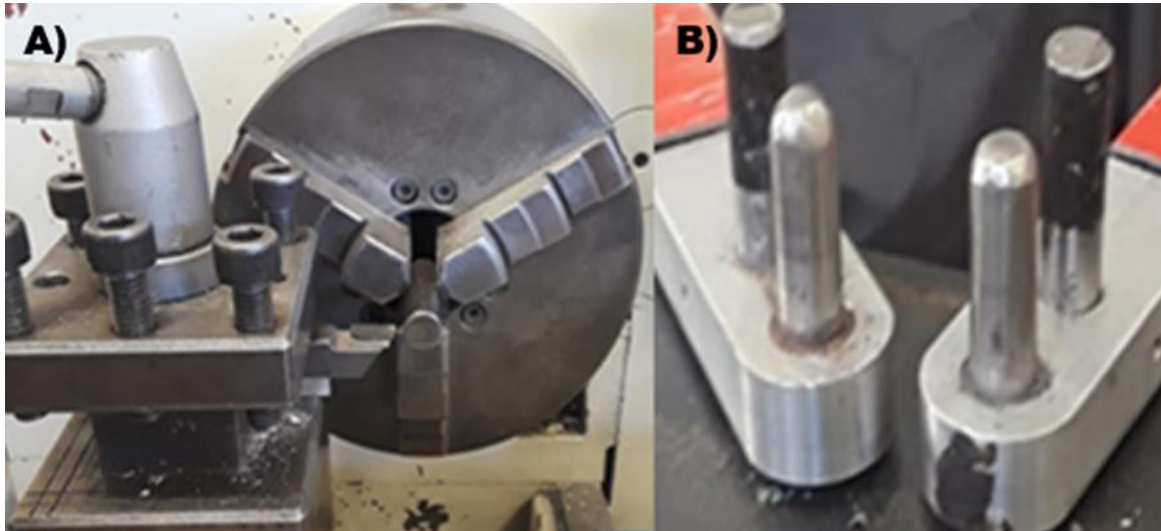
En este proceso de manufactura prepararemos el torno para realizar la reducción del diámetro para el vástago que serán introducidos a presión en la base y cabeza de la prensa. También se llevará a cabo la operación de desbaste con una herramienta de corte, en este caso se utilizó el buril izquierdo para poder reducirse y mantenerse a un nivel constante, en todo momento se cuidó la velocidad de avance. Se puede observar el proceso en la Fig. 37.



**Fig. 37: A) proceso de posicionamiento de la pieza. B) Proceso de manufactura en el torno para los vástagos A.**

### **3.5.5 Vástagos B**

En este paso se diseñaron los vástagos B donde se utilizaron los cálculos correspondientes y se obtuvieron las dimensiones geométricas, las cuales son las siguientes, un diámetro de 12.7 mm y una altura de 45mm, para realizar el vástago B repetimos el proceso de manufactura realizado en el vástago A, el vástago B se colocará a presión en la cabeza permitiendo generar él contra soporte para curvar el material y realizar las cadenas tal y como se muestra en la Fig. 38. En este proceso de manufactura prepararemos el torno para realizar la reducción del diámetro para el vástago que serán introducidos a presión en la base y cabeza de la prensa. También se llevará a cabo la operación de desbaste con una herramienta de corte, en este caso se utilizó el buril izquierdo para poder reducirse y mantenerse a un nivel constante, en todo momento se cuidó la velocidad de avance.



**Fig. 38: A) Proceso de manufactura en el torno para los vástagos B. B) Ensamble de los vástagos.**

buriles y brocas, el proceso inicia con un diseño total de 9 piezas, dos cabezas de la prensa, 4 vástagos de 12.7 mm de diámetro, dos palancas y una base. El proceso para obtener la geometría correcta para manufacturar la máquina dobladora de eslabones de cadenas se deben considerar las RPM a las que se someterá el material en las diferentes operaciones de remoción de materiales y acabado de superficies, soldadura y ensamble.

En función con el proceso de manufactura se estableció una metodología de trabajo para efectuar el diseño y el proceso de manufactura de un prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, la metodología experimental utilizada para fabricar el prototipo se dividió en tres etapas principales las cuales a su vez cuentan con subdivisiones, la primera etapa corresponde al diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena.

Las operaciones requeridas para llevar a cabo la manufactura son careado, refrentado, cilindrado, trabajaremos con máquinas como el torno, la fresadora, sierra cinta eléctrica y fresadora CNC.

Iniciando con el proceso de manufactura se trabajará con una de las dos placas de 127x290 mm las cuales poseen un espesor de 15 mm, una de estas placas se utilizará como base mientras que la otra será para fabricar las cabezas, en la placa

base se realizará un barrenado teniendo en cuenta que el material es de sección rectangular y de un Acero fuerte, la longitud a mecanizar para definir el diámetro es de 12.7 mm, se realizaron dos perforaciones en el centro de la placa con una separación de 38.1 mm, también se realizaron aproximadamente 60 pasadas y el tiempo total en esta operación fue de 20 minutos.

Por consiguiente se realizó el proceso de manufactura para las cabezas del prototipo, con la sierra cinta eléctrica se cortó la placa en dos pequeñas secciones con las siguientes dimensiones 32x115 mm, en las dos pequeñas secciones se realizaron cortes para obtener un ángulo de 60 en cada una de ellas, estos cortes tienen una profundidad de 10 mm de distancia, dejando un límite de error de 2 mm, el tiempo estimado por pasada en cada corte es de 5 minutos, las operaciones de corte tomaron un tiempo total de 25 minutos en cada cabeza, mientras que la operación con la esmeriladora tomo un tiempo total de 15 minutos por cada pieza, para obtener un acabado más profesional se colocaron las cabezas en una fresadora tradicional aplicando refrentado y careado para rectificar la pieza, se estima que el tiempo de la operación por cada pieza fue de 30 minutos, para finalizar el proceso de manufactura de las cabezas se utilizó la operación de barrenado, para perforar los centros de las cabezas, la longitud a mecanizar para definir el diámetro interno es de 12.7 mm y se realizaron aproximadamente 65 pasadas, el tiempo total de esta operación fue de 20 minutos y realizamos una segunda perforación a una distancia de 6.35 mm, con una medida de diámetro de 12.7 mm con un tiempo de maquinado de 20 minutos por perforación. En el proceso de manufactura para las palancas se cortaron dos palancas de una medida de 32x190 mm con ayuda de la máquina sierra cinta, el tiempo total en esta que se utilizó para cortar las palancas fue de 20 minutos.

El proceso de manufactura aplicado para los vástagos es mecanizar unos pernos de acero con un diámetro de 12.7 mm, la velocidad de las RPM será de 650 y se realizarán aproximadamente 75 pasadas, el tiempo total de esta operación es de 20 minutos, este tiempo no es tan extenso, sin embargo, es uno de los más importantes para lograr los vástagos que sean esenciales para aplicar la fuerza que se necesita

para curvar, se realizaron 4 vástagos denominados el grupo A con una medida de 63.5 mm de altura y un diámetro de 12.7 mm, mientras que el grupo B tiene una medida de una altura de 45 mm y un diámetro de 12.7 mm.

El tiempo total de maquinado es de 6 horas, incluyendo el tiempo muerto, donde se incluye el montaje y desmontaje de la pieza y cambios de herramienta. Se tienen estimado un total de 30 minutos en tiempos muertos para esta pieza debido a que la pieza se tiene que montar en el torno y a la fresadora. El tiempo total para la fabricación del prototipo fue de jornadas de 6 horas diarias, 4 días a la semana por dos semanas.

Los elementos del prototipo de la máquina dobladora de eslabones de cadena son 9 los cuales son:

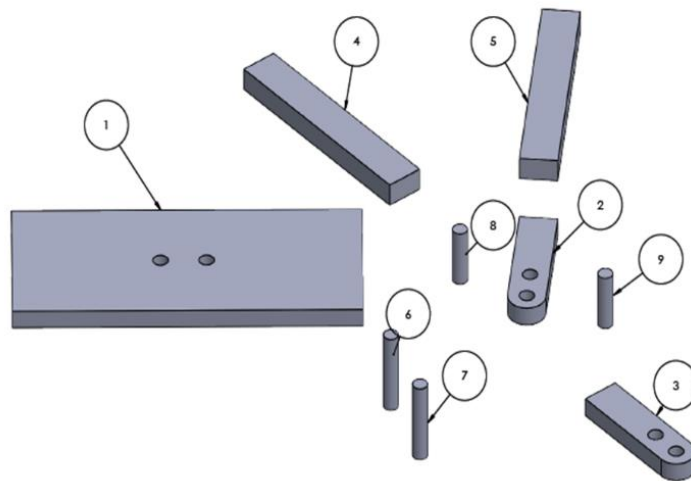
- ❖ 1 base
- ❖ 2 cabezas
- ❖ 2 vástagos A
- ❖ 2 vástagos B
- ❖ 2 palancas

# **CAPÍTULO 4**

#### 4.1 ENSAMBLE DE LA DOBLADORA DE ESLABONES DE CADENAS

En el presente capítulo se mostrará la conformación del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena y se proyectarán los resultados que se esperan obtener obtenidos durante la experimentación de la funcionalidad de la máquina. Con el proceso de ensamble podemos rectificar los resultados que se esperan obtener, puesto que se busca cumplir con las especificaciones previstas en el diseño.

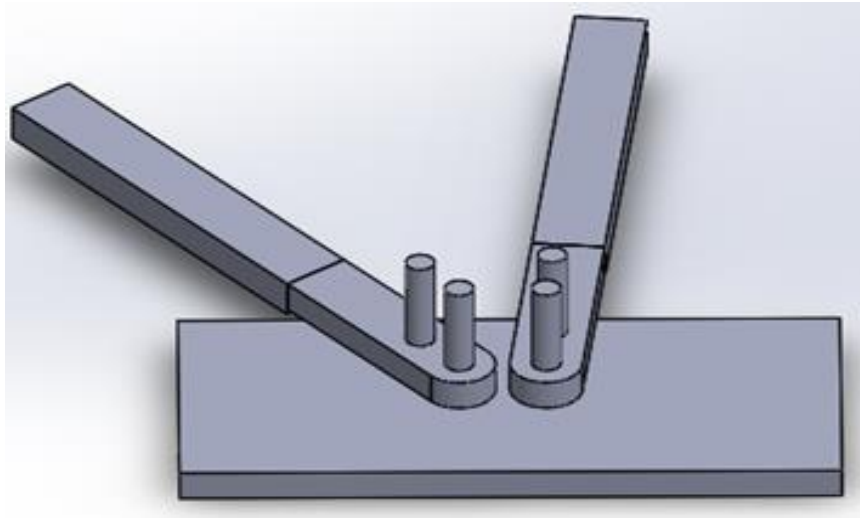
Ahora bien, teniendo cada una de las partes que conforman el prototipo de la máquina dobladora de cadena de acuerdo al diseño y proceso de manufactura que se realizó, se procederá a concluir con el ensamblado de la máquina, donde en la Imagen se pueden mostrar todas las partes del prototipo que lo conforman donde en total nos dio como resultado 9 piezas que integran en su totalidad a al prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, en cuanto a las piezas estas tiene el mismo aspecto físico con respecto al diseño que se realizó en el software SolidWorks tal y como se muestra en la Fig. 39, de tal manera que se puede hacer una comparación de las piezas.



**Fig. 39: Piezas de la máquina dobladora de eslabones de cadena.**

Para continuar con el proceso de ensamble se inició realizando el ensamblado de cada una de las piezas del prototipo de máquina dobladora, donde se analizó brevemente cada una de las piezas que lo conforman, todas las piezas se realizaron

con respecto a los cálculos pertinentes, tal y como se muestra en la Fig. 40, de esa manera se puede obtener un prototipo óptimo y con calidad de desempeño.



**Fig. 40: Vista isométrica de la dobladora de eslabones de cadenas.**

## **4.2 Etapas de ensamble del prototipo de la dobladora de eslabones de cadena**

Después de lo anterior expuesto del diseño de cada una de las partes que conforman el prototipo de la máquina dobladora de eslabones, se procedió a iniciar con el proceso de ensamble, el cual está constituido por 3 etapas, de tal modo que el proceso se puede desglosar y analizar en cada una de sus características.

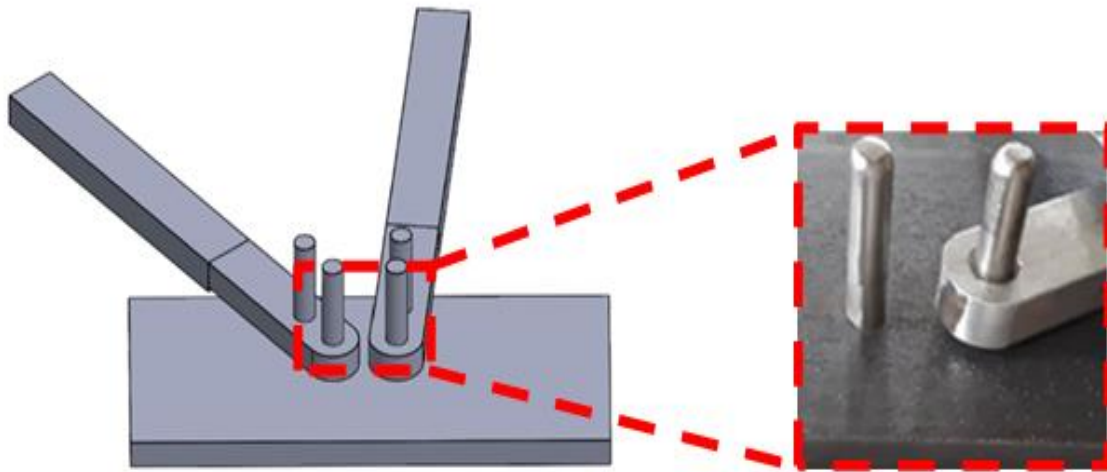
### **4.2.1 Primera Etapa**

Esta etapa consistió en el ensamblado de la base, mediante la colocación por presión de los vástagos sujetadores, los resultados serían obtenidos al momento de ejecutar la fuerza de doblado para realizar los eslabones de cadena.

#### **4.2.1.1 Ensamblado de la base**

En la Fig. 41 se muestra 2 piezas a emplear para iniciar con el ensamblado de la base de la dobladora, que son la base y los vástagos A, para esta etapa se utilizaron los vástagos A maquinados anteriormente, después se procedió a realizar el ensamble colocando los vástagos en los orificios ya barrenados para implementar su inserción mediante el uso de presión, donde se unió primero el vástago izquierdo a la base y acto seguido se colocó el segundo vástago, este modo de ensamble

proporciona seguridad, el proceso se terminó con puntos de soldadura por debajo de la base en los puntos de barrenado.



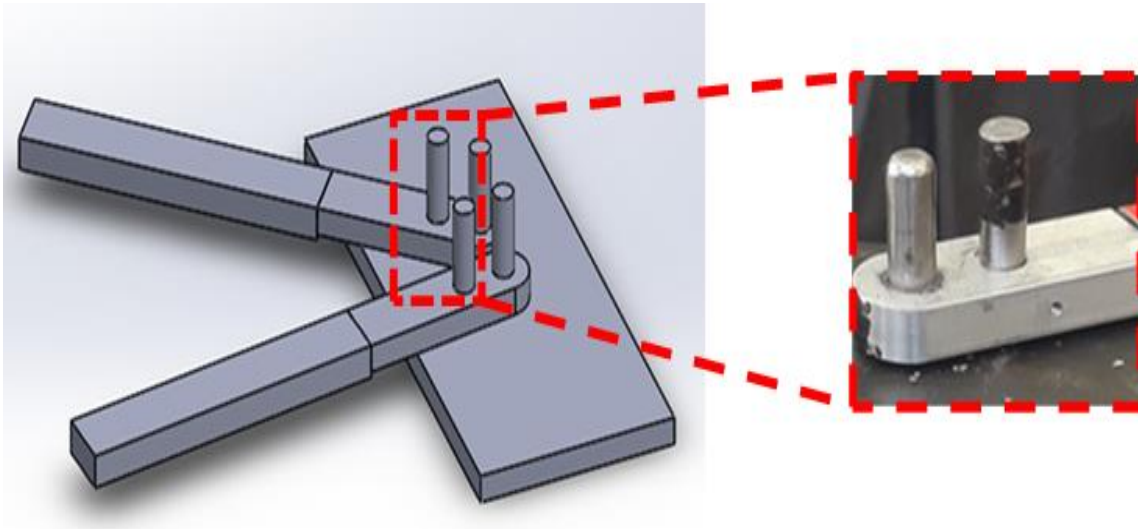
**Fig. 41: Ensamble de los vástagos A en la base de la Dobladora.**

#### **4.2.2 Segunda Etapa**

Para dar inicio con la segunda etapa del trabajo desarrollado se seleccionaron las cabezas de la dobladora, se caracterizan por ser un elemento de vital importancia en el prototipo, su ensamble será una unión entre los vástagos B, este ensamble será de vital importancia para asegurar la resistencia al momento de ejercer la fuerza de doblado, para lograr una deformación en el material para los eslabones de cadena.

##### **4.2.2.1 Ensamblado de las cabezas**

Después de haber colocado los vástagos A en la base de la dobladora, iniciaremos con el ensamblado de los vástagos B en las cabezas de la dobladora, se sitúan los vástagos B en la parte trasera de la estructura, donde están colocados los barrenados que se hicieron anteriormente tal y como se muestra en la Fig. 42, por consiguiente, podemos proceder a insertar los vástagos de a presión en las cabezas para armar la estructura de soporte que servirá para generar el doblado en el material, y de tal manera se logra armar 2 de las 3 partes principales del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena.



**Fig. 42: Ensamble de los vástagos B en las cabezas de la dobladora.**

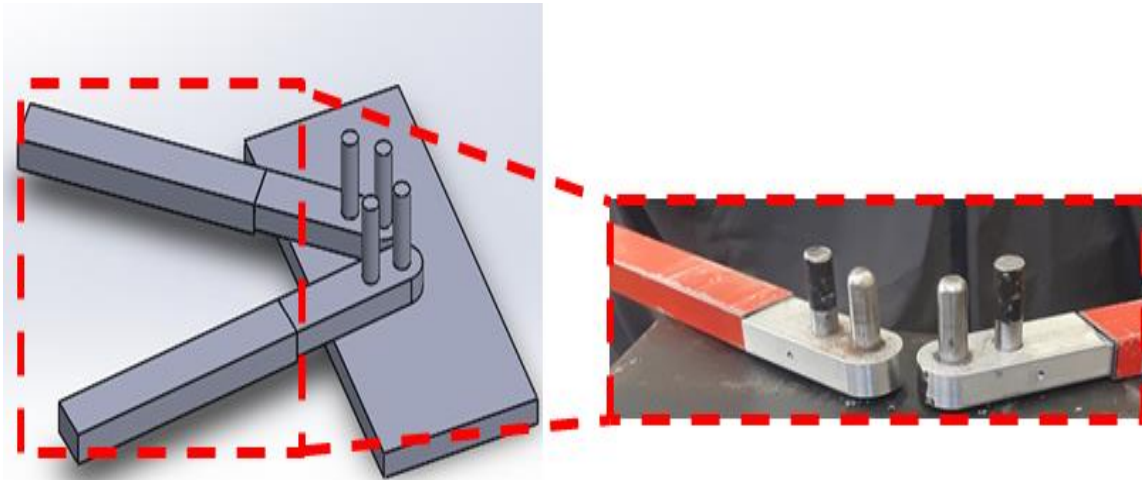
### 4.2.3 Tercera Etapa

Una vez teniendo el ensamble del prototipo de la dobladora de eslabones de cadena casi culminado, se empezó a realizar el ensamblado de las palancas a las cabezas de la dobladora, para lograr unificar las palancas a las cabezas se utilizó el proceso de puntos de soldadura, además de utilizar procesos de corte para reducir el tamaño de la parte trasera de las cabezas. Las palancas de la dobladora son un elemento esencial para realizar el proceso de doblado y poder tener un mejor manejo del prototipo ayudando a balancear la fuerza.

#### 4.2.3.1 Ensamblado de las palancas y cabezas

Finalmente, para concluir con el ensamblado del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena solo quedará unir las palancas a la cabeza, para esto previamente se realizó un corte en la parte trasera de las cabezas para lograr embonar las palancas, y colocarlas con puntos de soldadura, las palancas de la cabeza permitirán maniobrar la fuerza que se necesita para ejercer el doblado en el material.

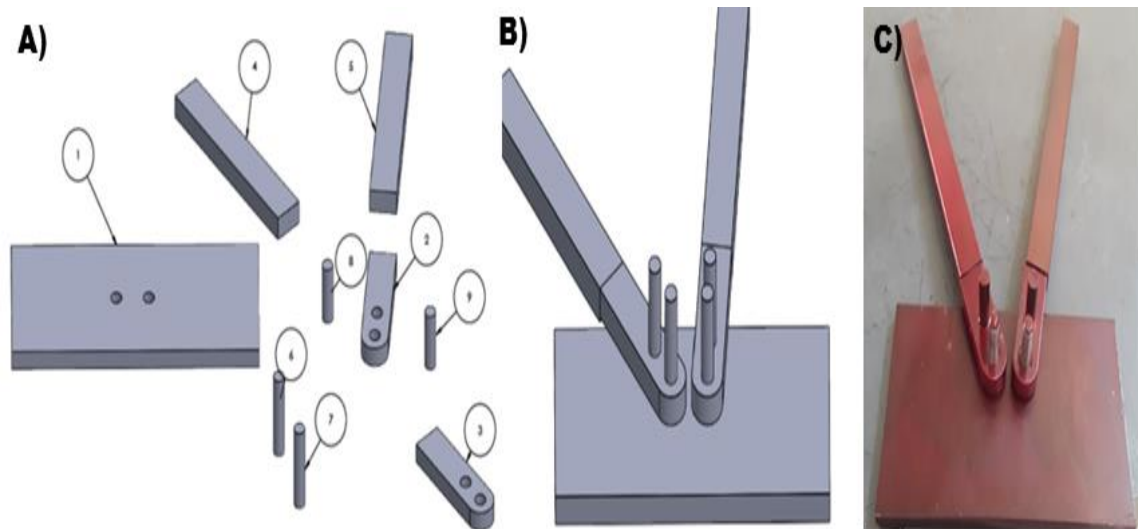
Otro punto importante para considerar es que se emplearon los cálculos para poder obtener la distancia de los ejes y el tamaño de las palancas, podemos dar como concluido el ensamble del prototipo de dobladora tal y como se observa a en la Fig. 43.



***Fig. 43: Ensamble de las palancas en las cabezas de la dobladora.***

Ahora bien, teniendo finalizado el ensamblado del prototipo de la máquina dobladora de eslabones de cadena, se infiere que esta máquina es de fácil ensamblado, ligera, resistente y fácil de limpiar, donde estas características generar una gran ventaja, puesto que se pretende utilizar como sistema de aprendizaje, son algunas de sus características significativas del prototipo es el material que fue seleccionado para su manufactura, puesto que el acero 4140 representa muchos factores favorecedores en la vida útil, y haciendo prácticamente el mantenimiento sencillo y viable, junto a que el prototipo está abierto a modificaciones.

En la Fig. 44 se muestra una comparación del diseño realizado en el software SolidWorks y el prototipo ya ensamblado de la máquina dobladora de eslabones de cadena.



**Fig. 44. A) Prototipo de dobladora en SolidWorks, B) Prototipo del ensamble de la Máquina Dobladora de eslabones de cadena en SolidWorks. C) Prototipo manufacturado de la máquina dobladora.**

Con base a lo anterior podemos trabajar en la etapa final del desarrollo del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, el ensamblado es la parte fundamental para poder constituir una máquina, la dobladora consta de 9 elementos principales que son 1 base, 2 cabezas, los vástagos que se dividen en dos grupos el A que contiene 2 vástagos y el B que de igual manera contiene 2 vástagos y 2 palancas, cabe destacar que el proceso de manufactura que se llevó a cabo en estos elementos fue mediante remoción de material (Torneado, Fresa y Taladrado) y control numérico computarizado (CNC), puesto que se realizaron piezas pequeñas y perforaciones en puntos específicos, y se aplicaron otros procesos de manufactura como el acabado de superficies, soldadura.

De acuerdo con lo anterior expuesto del diseño de cada una de las piezas que conforman el prototipo de la máquina dobladora de eslabones, se optó por generar un proceso de ensamble dividido por 3 etapas, de tal modo que este siga una secuencia y permita analizar cada una de las características y elementos del diseño.

Para iniciar con el proceso de ensamblado en la primera etapa se trabajó con una placa de 127x290 mm y consistió en el ensamblado de la base, mediante la introducción de los vástagos A, con una operación de presión en la base del prototipo. La segunda etapa consiste en introducir los vástagos B mediante presión a las cabezas de la dobladora, este ensamble será de vital importancia para asegurar la resistencia al momento de ejercer la fuerza de doblado, para lograr una deformación en el material para los eslabones de cadena.

En la última etapa de ensamblado se realizó la unión de las palancas a las cabezas, la medida de las palancas es de 32x190 mm, para lograr unificar las palancas a las cabezas se utilizó el proceso de puntos de soldadura, además de utilizar un proceso de corte para reducir el tamaño de la parte trasera de las cabezas, este elemento permitirá realizar el proceso de doblado y poder tener un mejor manejo del prototipo ayudando a balancear la fuerza.

# **CAPÍTULO 5**

## 5.1 CONCLUSIÓN

Los principales resultados de esta investigación están enfocados en el diseño y manufactura del prototipo de una máquina dobladora de eslabones de cadena, el cual resulta ser el más indicado para diseñar y manufacturar, donde se puede obtener cadenas de grado 30. Comprendiendo la relación entre el diseño y la manufactura, podemos profundizar en el arte del doblado y los elementos involucrados en el desarrollo de una máquina, así como en el entendimiento de los conocimientos en materiales, su clasificación, permitiéndonos visualizar las propiedades y ventajas de sus posibles utilidades.

Una vez determinadas las características y propiedades mecánicas del prototipo, se seleccionarán los procesos de manufactura que serán más eficientes para obtener cada una de las piezas que conformaran la dobladora, los procesos de manufactura que se emplearan para construir la dobladora son torneado, fresado, barrenado y control numérico (CNC).

### Diseño

Con base a lo anterior se puede concluir la propuesta del diseño del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, la cual está constituida por 9 elementos (1 base, 2 cabezas, 2 palancas y 2 vástagos, los cuales se dividen en los grupos A y B), los cuales fueron fabricados de Acero 4140 este material fue específicamente seleccionado para adaptarse a los requerimientos preestablecidos para la utilización del prototipo, para establecer el diseño de estos elementos se realizaron cálculos que permitieron encontrar las bases para establecer las medidas correspondientes. Los elementos del prototipo se realizaron en software 3D SolidWorks para visualizar el funcionamiento de los elementos, este modelo a escala de los elementos del prototipo permite visualizar un diseño práctico y eficiente.

### Material

El material ideal con el que será realizado será el acero 4140, puesto que este tipo de material es resistente, es un acero de baja aleación de la serie Cr-Mo, templabilidad, buena tenacidad, perfecto para el ambiente donde será utilizado, sus

propiedades lo hacen un material con varias utilidades y es comúnmente es utilizado en las industrias para realizar diferentes tipos de piezas mecánicas. El prototipo se diseñará con y analizará con ayuda del software SolidWorks.

## **Proceso de manufactura**

Con base a la metodología de trabajo y en función con la investigación se establecieron los parámetros para efectuar el diseño y el proceso de manufactura de un prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, la metodología experimental utilizada para fabricar el prototipo se dividió en tres etapas principales las cuales a su vez cuentan con subdivisiones, la primera etapa corresponde al diseño y manufactura de la dobladora de eslabones de cadena. Las operaciones requeridas para llevar a cabo la manufactura son careado, refrentado, cilindrado, trabajaremos con máquinas como el torno, la fresadora, sierra cinta eléctrica y fresadora CNC.

El tiempo total de maquinado es de 6 horas, incluyendo el tiempo muerto, donde se incluye el montaje y desmontaje de la pieza y cambios de herramienta. Se tienen estimado un total de 30 minutos en tiempos muertos para esta pieza debido a que la pieza se tiene que montar en el torno y a la fresadora. El tiempo total para la fabricación del prototipo fue de jornadas de 6 horas diarias, 4 días a la semana por dos semanas.

Los elementos del prototipo de la máquina dobladora de eslabones de cadena son 9 los cuales son:

- ❖ 1 base
- ❖ 2 cabezas
- ❖ 2 vástagos A
- ❖ 2 vástagos B
- ❖ 2 palancas

## **Prototipó**

Con base a lo anterior podemos trabajar en la etapa final del desarrollo del prototipo de máquina dobladora de eslabones de cadena, el ensamblado es la parte

fundamental para poder constituir una máquina, la dobladora consta de 9 elementos principales que son 1 base, 2 cabezas, los vástagos que se dividen en dos grupos el A que contiene 2 vástagos y el B que de igual manera contiene 2 vástagos y 2 palancas, de acuerdo con lo anterior expuesto del diseño de cada una de las piezas que conforman el prototipo de la máquina dobladora de eslabones, se optó por generar un proceso de ensamble dividido por 3 etapas, de tal modo que este siga una secuencia y permita analizar cada una de las características y elementos del diseño. El prototipo que se obtuvo fue la dobladora de eslabones de cadena, esta dobladora tiene un tiempo de manufactura de alrededor de 2 semanas, realizando jornadas de 6 horas diarias 4 días a la semana, el material utilizado fue el acero 4140, el costo en el material requerido para realizar la dobladora fue un total 900 pesos, las máquinas dobladoras de eslabones de cadena normalmente son automatizadas y su costo en el mercado es de un precio estimado de 2.600,00 US\$ a 6.200,00 US\$. (MachineWeb Inc., s/f.)<sup>xxx</sup>

Cabe resaltar que para llegar a finalizar este trabajo de tesis se involucraron diferentes dinámicas para establecer la perseverancia y dedicación, el esfuerzo realizado detono como resultado la obtención de nuevos conocimientos y habilidades en la carrera de ingeniería mecánica, el conocimiento plasmado en el trabajo durante todo un año, me brindo oportunidades de crecimiento personal que me ayudaran en el ámbito profesional más adelante para poder estudiar una maestría, el poder elaborar una tesis es una manera de desarrollar tu conocimiento y obtener destreza en tu área de estudio, puesto que te permite determinar un enfoque para seleccionar tu especialidad y te abre nuevos horizontes de conocimientos, mientras empleas los conocimientos adquiridos de las diferentes asignaturas que tiene el mapa curricular de la carrera ingeniería mecánica, es una oportunidad única para plasmar tus ideas y observar el fruto de tu trabajo, de manera general el haber realizado este trabajo fue una de las mayores y gratas experiencias permitiéndome obtener conocimientos de diferentes individuos que forjaron mi conocimiento durante la carrera, el poder innovar y relacionarme en un sentido profundo con la investigación fue uno de los pasos para impulsarme a crecer y evolucionar como profesionalista y ser humano. Cuando se construye un prototipo

debemos determinar cuidadosamente el material, los insumos, medidas, características de diseño y proceso de manufactura, el poder evaluar todos estos puntos nos permite tener una visión más completa del resultado. El realizar este trabajo me permitió conocer y trabajar de la mano con cuerpo académico de Optimización de Sistemas Mecánicos.

- <sup>i</sup> Groover, M. P. (2007). Fundamentos de Manufactura Moderna. (McGraw-Hill, Ed.) (Tercera ed). Mexico D.F.
- <sup>ii</sup> Aronson, R. B. (2004). Manufacturing Engineering.
- <sup>iii</sup> Degarmo, E.P., Black, J.T & Kohser, R., & A. (2003). Materials and Processes in Manufacturing.
- <sup>iv</sup> Kalpakjian, S & Schmid, R. (2003). Manufacturing processes form Engineering Materials.
- <sup>v</sup>Maquinado de elementos. (2016). Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=EjkvPLNgj0oEdwards>
- <sup>vi</sup> Trent, E. . & W. P. K. (2000). Metal Cutting
- <sup>vii</sup> Israelsson, J. & P. S. (2000). Manufacturing Engineering.
- <sup>viii</sup> Askeland, D. R. (1998). Ciencia e Ingenieria de los Materiales. (I. T. E. S. . de C.V, Ed.) (3ra Edicio). Mexico.
- <sup>ix</sup> Willian, F, S. & J. H. (s/f). Fundamentos de la Ciencia e Ingenieira de Materiales. (M. Hill, Ed.) (4ta Edición).
- <sup>x</sup> Shackelford, J. . F. (s/f). Introduccion a la Ciencia de Materiales para Ingenieros. (M. Hill, Ed.) (6ta Edicio).
- <sup>xi</sup> Boothroyf, G. K. (s/f). Fundamental of Metal Machining and Machine tools. (M. Dekker, Ed.) (2da Edicio). Nueva York.
- <sup>xii</sup> Ferrer, C. (2003). Tecnologia de Materiales. (Alfaomega, Ed.).
- <sup>xiii</sup> Newell, J. (s/f). Ciencia de Materiales Aplicados en Ingenieria.
- <sup>xiv</sup>Tipos de Acero. (s/f). Recuperado el 31 de octubre de 2019, de <http://tecnologiautrillas.ftp.catedu.es/materiales/web4.htm>
- <sup>xv</sup> Simon Mata, A. B. (2005). Ideas Basicas de Estatica y Resistencia de Materiales. (Anaya, Ed.).
- <sup>xvi</sup>Características del Acero. (s/f). Recuperado el 24 de marzo de 2019, de <https://www.caracteristicas.co/acero/>
- <sup>xvii</sup>Mundial, M. (2019, 30 noviembre). SAE AISI Acero 4140 Ficha Tecnica, Propiedades, Dureza, Caracteristicas, Tratamiento Termico. Material Mundial Grados. Recuperado 2 de noviembre de 2021, de <https://www.materialmundial.com/sae-aisi-acero-4140-ficha-tecnica-propiedades/>
- <sup>xviii</sup>Benders, B. S. (2017, 19 septiembre). A History of Metal bending. Www.Barnshaws.Com. Recuperado 3 de noviembre de 2021, de <https://www.barnshaws.com/information/articles/a-history-of-metal-bending>
- <sup>xix</sup> Bavaresco, I. G. (s/f.). PRENSAS. gabpingenieria. Recuperado 3 de noviembre de 2021, de <https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/prensas.pdf>
- <sup>xx</sup>Jesús Francisco Alvarado Mendoza. (1 de junio del 2020). Proceso de deformación. Tesis Diseño y Manufactura de Mezclador de paletas inclinadas (181). Tijuana B.C.: Universidad Autónoma de Baja California.
- <sup>xxi</sup>A short history of bending machines – Part 1. (2021, 4 junio). JORNS AG. Recuperado 27 de septiembre de 2022, de <https://www.jorns.ch/en/news/a-short-history-of-bending-machines-part-1>

---

<sup>xxii</sup> Bending Machine: Definition, Types, Parts, Working, Application & Advantages. (2021, 10 diciembre). Engineering Learn. Recuperado 27 de septiembre de 2022, de <https://engineeringlearn.com/bending-machine-definition-types-parts-working-application-advantages/>

<sup>xxiii</sup> Dobladora | Amada México. (s/f.). <https://www.amada-mexico.com/press-brake>

<sup>xxiv</sup> Jones, F. (2022, 5 octubre). Machinery's Handbook & Toolbox: A Reference Book for the Mechanical Engineer, Designer, Manufacturing Engineer, Draftsman, Toolmaker, and Machinist. Ingram International, INC.

<sup>xxv</sup> Chain Grades: Comparing Grade 30, Grade 43, Grade 70, Grade 80, Grade 100, and Grade 120 Chain. (2021, 8 junio). US Cargo Control Blog. Recuperado 5 de octubre de 2022, de <https://blog.uscargocontrol.com/comparing-chain-grades/>

<sup>xxvi</sup> Elite Sales Inc. (2022, 17 agosto). What are the Differences in Industrial Chain Grades? Elite Sales Inc. | Wholesale wire rope distributor. Recuperado 5 de octubre de 2022, de <https://www.elitesalesinc.com/differences-in-chain-grades/#:%7E:text=There%20are%20five%20main%20grades,can%20take%20pe,r%20millimeter%20squared.>

<sup>xxvii</sup> Sánchez Sánchez, R. (2008, septiembre). Conceptos y definiciones en cinemática. uhu.es. Recuperado 5 de octubre de 2022, de <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntos.htm/Apuntos%20Tema%201.pdf>

<sup>xxviii</sup> Budynas, Richard G. Nisbett, K. J. (2014). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Igarss 2014. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

<sup>xxix</sup> SolidBi. (2021, 4 mayo). SolidWorks - Qué es y para qué sirve. Recuperado 3 de noviembre de 2021, de <https://solid-bi.es/solidworks/>

<sup>xxx</sup> MachineWeb Inc. (s/f.). Prensas Dobladoras (Plegadoras) A la Venta - MachineTools.com. <https://www.machinetools.com/es/for-sale/machines/used/press-brakes?gclid=Cj0KCQiAw8OeBhCeARIsAGxWtUx6AWN7VsybIT4Wav2ltGwrHgA5aeEj3BIAzjd4q5ff1oJ0loZr>

# Anexo

