

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACION DE TECNÓLOGOS**

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DOBLADORA  
MANUAL PARA PERFILES CUADRADOS DE ACERO SAE 1018  
DE 20 Y 25.4mm DE 1 A 2mm DE ESPESOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

**JULIO EDUARDO QUINGA GUANOCUNGA**

jued\_quinga85@hotmail.com

**JUAN PABLO TACO PACHACAMA**

juanpa\_8585@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. WILLAN MONAR**

willanmonar@hotmail.com

**QUITO, ABRIL DEL 2009**

## **DEDICATORIA**

A mis padres que por su afán y sacrificio fue posible la culminación de esta etapa de mi vida estudiantil.

A mis padrinos Carmen y Klever quienes a pesar de estar lejos nunca perdieron las esperanzas en mi ya que sin su constante apoyo y amor no hubiese alcanzado mi tan anhelado Título.

A mis queridos hermanos especialmente a Miriam y Cristofer quienes son la razón de mí vivir.

Además les dedico este proyecto a todos mis compañeros y amigos de la Escuela Politécnica Nacional de quienes me llevo los más grandes recuerdos con quienes se han escrito historias imborrables a lo largo de nuestra carrera estudiantil.

**JULIO**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios a mis padres José y Rosa a mi segundos padres Carmen y Klever por los fundamentos éticos, por su incondicional apoyo en el transcurso de mi vida hasta este momento por el esfuerzo y dedicación que me han brindado día a día en la superación académica y personal.

Al Ing. Willan Monar por su acertada dirección en el presente proyecto de titulación a mis compañeros quienes estuvieron demostrándome a cada momento que los amigos son aquellos que están en las buenas y en las malas.

Un especial agradecimiento a todos los profesores de toda mi vida estudiantil por haberme guiado y enseñado la ciencia del saber y ser además testigos de mis triunfos y fracasos y a la Escuela Politécnica Nacional por haberme brindado la oportunidad de llevarme las mejores enseñanzas en sus aulas y estar preparado en el campo laboral.

**JULIO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Julio Eduardo Quinga Guanocunga y Juan Pablo Taco Pachacama declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa intelectual vigente.

-----  
Julio Eduardo Quinga G.

-----  
Juan Pablo Taco P.

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres.: Julio Eduardo Quinga Guanocunga y Juan Pablo Taco Pachacama, bajo mi supervisión.

-----

Ing. Willan Monar

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## INDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

	<b>Páginas.</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1. Proceso de conformado mecánico.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.2. Fundición y colada.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.3. Maquinado.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.4. Ensamble y unión.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.5. Conformado mecánico por deformación plástica.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Clasificación de los procesos de Conformado Mecánico.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Procesos de Compresión Directa.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Procesos de Compresión Indirecta.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.3 Procesos de tracción.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.4 Procesos de flexión.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.4.1 Doblado .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.4.2 Plegado .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.4.3 Rolado .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4.4 Perfilado .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4.5 Embutido .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4.6 Repujado .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.5 Proceso de Corte.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.5.1 Cizallado .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.5.2 Punzonado .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Propiedades Mecánicas de los Materiales.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1 Propiedades Químicas.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2 Propiedades Físicas .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.3 Propiedades Mecánicas.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.4 Tenacidad .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.5 Fragilidad .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.6 Elasticidad .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.7 Plasticidad .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.8 Maleabilidad .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.9 Ductilidad .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.10 Dureza.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.11 Método Brinell .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.12 Método Vickers.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.13 Método Rockwell .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.14 Resistencia a la tracción.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Diagrama Esfuerzo-Deformación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1 Limite de Proporcionalidad .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.2 Limite Elástico .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.3 Zona Elástica.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.4 Zona Plástica.....</b>	<b>13</b>

1.4.5	Limite Elástico Aparente o de fluencia.....	13
1.4.6	Resistencia a tracción.....	13
1.4.7	Resistencia de rotura.....	13
1.4.8	Módulo de Resiliencia.....	13
1.4.9	Módulo de tenacidad.....	14
1.4.10	Alargamiento de rotura.....	14
1.5	Proceso de Doblado.....	14
1.5.1	Antecedentes y características del doblado.....	14
1.6	Doblado de láminas y placas.....	16
1.7	Doblado de tubos.....	18
1.7.1	Doblado por estiramiento o escurrido.....	18
1.7.2	Doblado por compresión o contorneado.....	20
1.7.3	Doblado con rodillos.....	20
1.7.4	Doblado a tracción.....	22
1.7.5	Doblado en prensa.....	22
1.8	Factores y parámetros del doblado.....	23
1.8.1	La temperatura del conformado.....	24
1.8.1.1	Conformado en caliente.....	24
1.8.1.2	Conformado en frío.....	25
1.8.2	La velocidad de deformación en el conformado.....	26
1.8.3	La micro estructura en el conformado.....	26
1.8.4	Fricción.....	26
1.8.5	Recuperación elástica.....	27
1.9	Parámetros de doblado.....	27
1.9.1	Capacidad del ángulo de giro.....	27
1.9.2	Radio mínimo de doblado.....	27
1.10	Problemas en el doblado.....	28
1.10.1	Calentamiento.....	30
1.11	Doblado de perfiles.....	30
1.11.1	Llenado de perfiles huecos.....	30
1.11.2	Doblado de perfiles rellenos .....	31
1.11.3	Empleo de mandriles.....	33
1.12	Doblado sin uso de mandriles.....	36
1.13	Análisis de deformaciones plásticas.....	37
1.13.1	Esfuerzo y alargamiento en la deformación plástica de los materiales.....	39
1.13.2	Esfuerzos en el doblado.....	43
1.13.3	Análisis de esfuerzos.....	43
1.14	Cálculo del momento plástico.....	45
1.15	Momento flector.....	48
1.16	Cálculo de parámetros para el tubo cuadrado.....	49

1.16.1	Tubo cuadrado.....	49
1.16.2	Momento de inercia de la sección.....	50
1.16.3	Distancia de la fibra neutra a la fibra más alejada de la sección.....	50
1.16.4	Módulo de sección.....	50
1.16.5	Radio de giro.....	50
1.16.6	Módulo de resistencia del tubo cuadrado.....	51
1.17	Recuperación elástica en el doblado.....	51

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1	Requerimientos de construcción de la máquina prototipo de doblado de tubos cuadrados.....	53
2.2	Requerimientos para la construcción de la máquina.....	54
2.3	Requerimientos y características de los tubos a utilizar.....	54
2.3.1	Tubos mecánicos.....	55
2.3.2	Tubos estructurales.....	56
2.3.3	Cañerías.....	56
2.3.4	Tubos eléctricos.....	57
2.3.5	Perfiles.....	57
2.3.6	Clasificación de los perfiles tubulares.....	58
2.3.6.1	Para uso general.....	58
2.3.6.2	Para uso estructural.....	58
2.3.6.3	Usos principales.....	59
2.4	Precisión para el doblado de tubos cuadrados.....	60
2.5	Requerimientos de la máquina.....	62
2.6	Análisis de alternativas.....	63
2.6.1	Doblado manual por estiramiento.....	64
2.6.2	Doblado manual por compresión.....	65
2.6.3	Dobladora hidráulica.....	67
2.7	Selección de la mejor alternativa.....	69
2.7.1	Factores funcionales.....	70
2.7.2	Factores de construcción.....	71
2.7.3	Factor económico.....	72
2.8	Indicadores de evaluación.....	72
2.9	Pruebas preliminares.....	73
2.10	Selección de la alternativa.....	75
2.10.1	Esquema general del prototipo de dobladora manual para perfiles cuadrados.....	75

## CAPÍTULO III

### DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PROTOTIPO DE DOBLADORA MANUAL PARA PERFILES CUADRADOS DE ACERO SAE 1018 DE 20MM Y 25.4MM DE 1 A 2 MM DE ESPESOR

3.1	Introducción.....	77
3.2	Aspectos generales del doblado de tubería.....	77
3.3	La fuerza del doblado.....	78
3.4	Selección de materiales.....	78
3.5	Materiales para la construcción.....	79
3.5.1	Acero de bajo contenido de carbono ASTM A-36.....	79
3.5.2	Acero de transmisión AISI-SAE 1018.....	79
3.6	Lubricantes para el proceso de doblado.....	79
3.7	Dimensionamiento y construcción.....	80
3.7.1	Brazo principal.....	80
3.7.2	Brida deslizante.....	81
3.7.3	Alma de doblez.....	82
3.7.4	Tornillo roscado principal.....	82
3.7.5	Bocín.....	83
3.7.6	Pasador elástico.....	84
3.7.7	Eje palanca.....	84
3.7.8	Guía de doblez de 20mm.....	85
3.7.9	Guía de doblez de 25.4mm.....	86
3.7.10	Brida de sujeción de 20mm.....	86
3.7.11	Brida de sujeción de 25.4mm.....	87
3.7.12	Eje de giro.....	88
3.7.13	Matrices dobladoras.....	88
3.7.13.1	Matriz de 20mm.....	90
3.7.13.2	Matriz de 25.4mm.....	91
3.7.14	Palanca de ajuste.....	92
3.8	Montaje de la máquina prototipo.....	93
3.9	Hojas de proceso.....	95

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Funcionamiento de la dobladora de tubos.....	123
4.2	Seguridad en la máquina dobladora.....	123
4.3	Pruebas de funcionamiento.....	124
4.3.1	Prueba N°1.....	125
4.3.2	Prueba N°2.....	127
4.3.3	Prueba N°3.....	129
4.4	Tubos cuadrados doblados después de la prueba.....	131
4.5	Cálculo de esfuerzos y cargas en el mecanismo de doblado.....	132
4.6	Cálculo de parámetros en el tubo cuadrado.....	136

<b>CONCLUSIONES</b> .....	139
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	140
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	

## **ANEXOS**

Anexo I	Simbologías y Abreviaturas
Anexo II	Catálogo de Tuberías Parámetros de Tubería
Anexo III	Aceros
Anexo IV	Tabla de electrodos Recubiertos Tabla de calidades superficiales y ajustes recomendados Tabla de elementos Normalizados
Anexo V	Fotografías de la Dobladora Manual. Cálculo de estiramiento de los tubos.
Anexo VI	Planos.

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTOS TEORICOS

Figura N° 1.1. Proceso de compresión directa.....	3
Figura N° 1.2 Esfuerzos en los procesos de compresión indirecta.....	4
Figura N° 1.3 Proceso de Trefilado en compresión Indirecta.....	5
Figura N° 1.4 Proceso de plegado.....	6
Figura N° 1.5 Proceso de Embutido.....	7
Figura N° 1.6 Proceso de Repujado.....	8
Figura N° 1.7 Método Brinell.....	10
Figura N° 1.8 Método Vickers.....	11
Figura N° 1.9 Metodo Rockwell.....	11
Figura N° 1.10 Diagrama Esfuerzo – Deformación.....	12
Figura N° 1.11 Flexión de materiales Frágiles.....	15
Figura N° 1.12 Deformación de las Fibras en el doblado.....	16
Figura N° 1.13 Terminología del doblado.....	17
Figura N° 1.14. Doblado por estiramiento.....	18
Figura N° 1.15. Doblado por compresión.....	20
Figura N° 1.16 Doblado con rodillos.....	21
Figura N° 1.17 Doblado a tracción.....	22
Figura N° 1.18. Doblado en prensa hidráulica.....	23
Figura N° 1.19. Efectos en el doblado de ángulo.....	29
Figura N° 1.20. Llenado interior de perfiles huecos.....	30
Figura N° 1.21 Doblado de perfiles rellenos.....	31
Figura N° 1.22 Rellenado y taponado previo al doblado del tubo.....	32
Figura N° 1.23 Uso de mandril y dispositivos en el doblado.....	33
Figura N° 1.24 Mandriles.....	34
Figura N° 1.25 Empleo de mandriles.....	34
Figura N° 1.26 Nomograma para determinar el tipo de mandril.....	36
Figura N° 1.27. Diagrama tensión-deformación para un material dúctil.....	38
Figura N° 1.28 Orientación de las tensiones en una probeta de tracción.....	40
Figura N° 1.29 Diagramas ideales Tensión – Deformación.....	42
Figura N° 1.30. Flexión plástica de una viga.....	44
Figura N° 1.31 Distribución de esfuerzos sobre una sección rectangular.....	46
Figura N° 1.32 Distribución de esfuerzos sobre una sección circular.....	48
Figura N° 1.33 Tubo cuadrado.....	49
Figura N° 1.34 Curva deformación – esfuerzo mostrando la línea de Descarga.....	52

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Figura N° 2.1. Tubo redondo.....	58
Figura N° 2.2. Tubo cuadrado.....	59
Figura N° 2.3. Tubo rectangular.....	59
Figura N° 2.5. Pruebas realizadas en tubo cuadrado.....	61
Figura N° 2.6 Tubo cuadrado antes y después del doblado.....	62
Figura N° 2.7. Dobladora Manual por estiramiento.....	64
Figura N° 2.8. Dobladora Manual a compresión.....	66
Figura N° 2.9. Dobladora hidráulica.....	68
Figura N° 2.10. Elementos y partes de la máquina dobladora de Tubos cuadrados.....	76

## CAPÍTULO III

### DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DOBLADORA DE TUBOS CUADRADOS

Figura N° 3.1 Brazo principal.....	81
Figura N° 3.2 Brida Deslizante.....	81
Figura N° 3.3 Alma de Dobleza.....	82
Figura N° 3.4 Tornillo roscado Principal.....	83
Figura N° 3.5 Bocín.....	83
Figura N° 3.6 Pasador elástico.....	84
Figura N° 3.7 Eje Palanca.....	85
Figura N° 3.8 Guía de doblez de (¾ pulg.) 20mm.....	85
Figura N° 3.9 Guía de doblez de (1pulg.) 25.4 mm.....	86
Figura N° 3.10 Brida de sujeción 20mm.....	87
Figura N° 3.11 Brida de sujeción de 25.4mm.....	87
Figura N° 3.12 Eje de Giro.....	88
Figura N° 3.13 Matriz para doblar tubo cuadrado de ¾ realizada en torno CNC.....	89
Figura N° 3.14 Matriz de (¾ de pulg.) 20mm.....	90
Figura N° 3.15 Matriz de ¾ pulg.....	90
Figura N° 3.16 Matriz de Dobleza.....	91
Figura N° 3.17 Matriz de (1pulg.) 25.4mm.....	92
Figura N° 3.18 Palanca de ajuste.....	93
Figura N° 3.19 Componentes de la máquina.....	93
Figura N° 3.20 Montaje de la máquina con la matriz de 25.4mm.....	95

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Figura N° 4.1 Tubos cuadrados doblados.....	125
Figura N° 4.2 Tubo cuadrado de 20mm (3/4pulg).....	125
Figura N° 4.3 Superficie externa del tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.) doblado.....	126
Figura N° 4.4 Superficie interna del tubo 20mm.....	126
Figura N° 4.5 Superficie externa del tubo de 20mm de espesor 1.8mm.....	127
Figura N° 4.6 Superficie interna del tubo de 20mm de espesor 1.8mm.....	127
Figura N° 4.7 Tubo cuadrado doblado de 25mm (1pulg).....	128
Figura N° 4.8 Superficie externa del tubo cuadrado de 25mm (1pulg).....	128
Figura N° 4.9 Superficie interna del tubo cuadrado de 25mm (1pulg).....	129
Figura N° 4.10 Tubo cuadrado de 20mm espesor 0.9mm doblado.....	129
Figura N° 4.11 Tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm (1pulg).....	130
Figura N° 4.12 Superficie interna del tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm.....	130
Figura N° 4.13 Superficie externa del tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm.....	131
Figura N° 4.14 Pruebas realizadas.....	131
Figura N° 4.15 Diagrama de cuerpo libre de la dobladora.....	132
Figura N° 4.16 Tubo cuadrado de 20mm.....	137

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en nuestro País, falta la explotación del campo tecnológico en la elaboración de máquinas construidas para la ejecución de actividades específicas en los diferentes campos de la industria metalmeccánica.

Con este proyecto se ha buscado alternativas de desarrollo tecnológico dentro del país para el cual se ha enfocado en el doblado de tubos cuadrados de pared delgada, ya que es una parte del sector metalmeccánico muy vulnerable a las pérdidas económicas y pérdidas de calidad del producto.

La construcción de la máquina para doblar tubos cuadrados tiene como finalidad mejorar la enseñanza teórica, práctica, que nos transmiten nuestros profesores en los laboratorios, especialmente en Conformado Mecánico.

Para la fabricación de esta máquina se aplican conceptos y procesos de fabricación aprendidos a lo largo de la formación profesional, siendo un apoyo muy útil y práctico para la realización de este proyecto.

La selección de los materiales se realizó aplicando los conocimientos aprendidos durante el desarrollo de la carrera, al igual que la elaboración de planos y hojas de proceso, durante el ensamble y pruebas preliminares se hallaron problemas que fueron superados y ayudaron a que la máquina cumpla con el fin para el que fue construida.

Este dispositivo permitirá doblar tubos cuadrados de pared delgada de 20mm y 25.4mm de 1 a 2mm de espesor.

## RESUMEN

Al construir una máquina para doblar tubos cuadrados de pared delgada se pensó siempre en poder mejorar el proceso de doblado y además satisfacer las necesidades del medio exterior que realiza el proceso de doblado.

Para la construcción de esta máquina se usaron herramientas, procesos, conceptos y conocimientos mecánicos, los cuales están relacionados al proceso constructivo.

El presente proyecto se realizó con la finalidad de tecnificar cada vez más los procesos de trabajo en los pequeños talleres de la ciudad (Quito), en donde se realizan operaciones de doblado de tubos cuadrados de pared delgada a través de métodos que no son tan confiables.

Consta de cuatro capítulos, en el primero se describe la parte teórica que es fundamental para el estudio y construcción de la máquina.

El segundo capítulo trata del análisis y selección de alternativas, requerimientos, que debe cumplir la máquina dobladora los mismos que permiten elegir el tipo de máquina seleccionada a construir y de los elementos que la constituyen.

En el tercer capítulo se describe el proceso de selección de materiales, construcción, montaje y descripción de los componentes de la máquina y sus características.

En el cuarto capítulo se describe el resultado de las pruebas realizadas con la máquina dobladora utilizando probetas de tubos cuadrados para el proceso de doblado que prueba el funcionamiento de la máquina. Además constan recomendaciones de seguridad que ayudará a que se dé un mejor uso a la dobladora de tubos cuadrados.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

#### **1.1.1 PROCESO DE CONFORMADO MECANICO<sup>1</sup>**

En el conformado de piezas las partes se pueden formar: por fundición y colada por deformación plástica, por maquinado, por ensamble y unión.

#### **1.1.2 FUNDICIÓN Y COLADA**

Es un proceso que se utiliza para colar o moldear, el material en forma líquida, se introduce en una cavidad preformada llamada molde. El molde tiene la configuración exacta de la parte que se va moldear o colar. Después de que el material llena el molde, se endurece y adapta la forma, la cual es la forma de la pieza, luego se abre o se rompe el molde y se extrae la pieza.

#### **1.1.3 MAQUINADO**

Este proceso se utiliza para conformar partes de materiales, es preciso y puede producir una tersura de superficie difícil de lograr con otros procesos de formación, se lleva a cabo su forma con el uso de una herramienta de corte.

#### **1.1.4 ENSAMBLE Y UNIÓN**

La función básica de los procesos de ensamble es unir dos o más partes entre si para formar un conjunto o subconjunto completo. La unión de las partes se puede lograr con métodos permanentes como soldadura de arco o de gas, soldadura blanda o dura con el uso de adhesivos basados en resinas epoxi y

---

<sup>1</sup> KASANAS, H.C. *Procesos Básicos de Manufactura*. EPN.

no permanentes las sujeciones realizadas con sujetadores mecánicos (tornillos, pasadores, chavetas, remaches, etc.)

### **1.1.5 CONFORMADO MECÁNICO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA<sup>2</sup>**

Es un proceso de deformación plástica que sirve para obtener piezas en estado sólido, que de manera útil aprovecha las propiedades mecánicas y tecnológicas de los metales como es la maleabilidad y la ductilidad.

Clasificación del conformado mecánico:

Por la temperatura de conformado en frío o en caliente (por sobre o debajo de la temperatura de recristalización)

Por la forma final de la pieza.

Por las situaciones mecánicas sometidas a la pieza.

Por el estado de esfuerzos durante el conformado.

Por el tipo de esfuerzos durante el conformado.

Por el tamaño de la zona deformada; localizada o general.

Por la velocidad de deformación.

Por la operación de conformado primario y secundario.

## **1.2 PROCESOS DE CONFORMADO DE ACUERDO A LAS SOLICITACIONES MECÁNICAS.**

Los procesos de conformado mecánico de acuerdo a las fuerzas aplicadas a las piezas durante el conformado, se clasifican en:

Proceso de compresión directa: forjado laminado.

Proceso de compresión indirecta: trefilado y extrusión.

Proceso de tracción: estirado.

Proceso de flexión: doblado (plegado, rolado, perfilado, embutido, repujado).

Proceso de corte: cizallado y punzonado.

Proceso de torsión: para la construcción de resortes helicoidales.

---

<sup>2</sup> DON BOSCO, (1999), *Curso Básico de Matricería*. ITS, Folleto.

### 1.2.1 PROCESOS DE COMPRESIÓN DIRECTA.

En estos procesos las fuerzas aplicadas y las tensiones resultantes son de compresión. El metal fluye en direcciones normales a la tensión de compresión aplicada. Los procesos de compresión directa incluyen a: forja, laminación y extrusión. El estado de tensión varía desde compresión uniaxial para algunas operaciones de forja y laminación, (fig. 1.1). En la forja y laminación la fricción entre la herramienta y metal produce fuerzas de compresión en las direcciones perpendiculares a dichas fuerzas. La magnitud de las fuerzas perpendiculares o laterales dependen de varios factores, el más importante la superficie de la herramienta y el metal; el tipo de lubricante y la extensión relativa del área de contacto entre herramienta y metal.

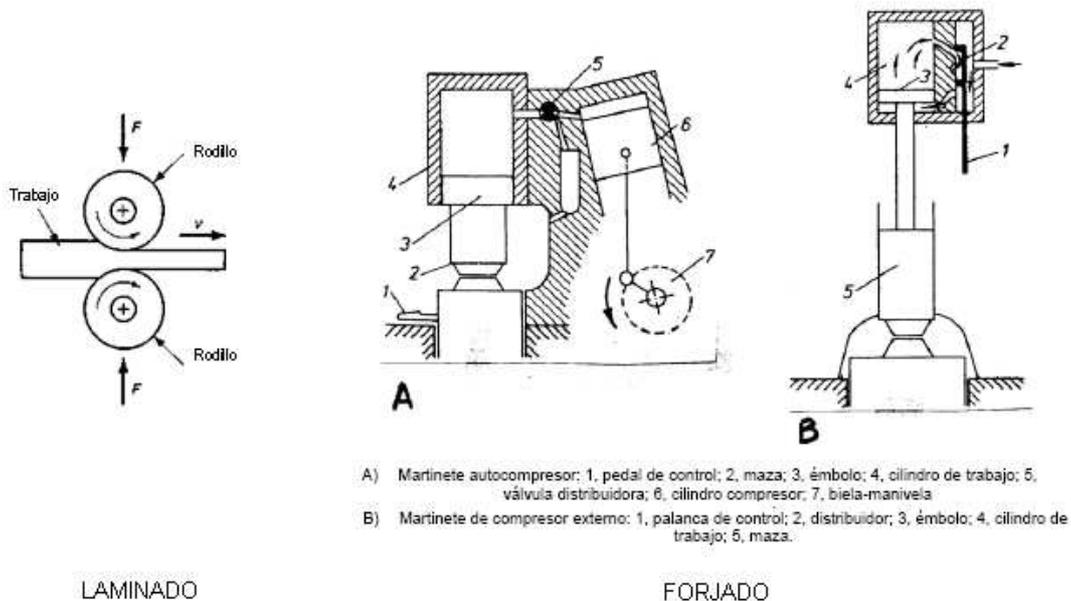


Figura Nº 1.1 Proceso de compresión directa.

### 1.2.2 PROCESOS DE COMPRESIÓN INDIRECTA:

En estos procesos las fuerzas aplicadas son de tracción o compresión, pero estas tensiones de tracción son menores comparadas con las fuerzas reactivas de compresión desarrolladas en una o ambas direcciones perpendiculares a la fuerza de tracción. El metal fluye bajo el estado de tensiones combinadas, de tracción (en una dirección) y de compresión (en por lo menos una de otras

direcciones). La fricción entre la herramienta y el metal es mucho menor que en los procesos de compresión directa debido a que la presión ejercida sobre las superficies de la herramienta es menor y no excede a la requerida para la compresión uniaxial. Los procesos de compresión indirecta incluyen a: extrusión y trefilado (Fig. 1.2)

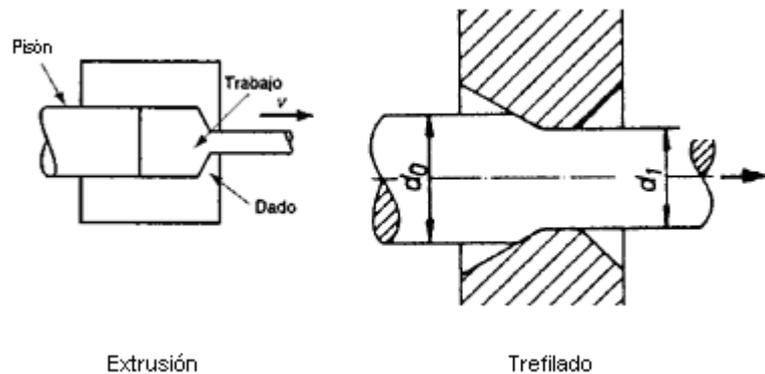


Figura N° 1.2 Esfuerzos en los procesos de compresión indirecta.

En estos procesos una característica importante es que las tensiones varían a lo largo de la pieza. En la Fig.1.2 se observan los procesos y los esfuerzos en la extrusión y trefilado. En este último proceso las fuerzas aplicadas crean tracciones de considerable magnitud en la proximidad del lugar donde son aplicadas. Al aumentar las distancias a estos puntos, las tensiones de compresión se hacen más predominantes y las tensiones de tracción se anulan en las regiones en que están siendo deformadas.

### 1.2.3 PROCESOS DE TRACCIÓN:

En este proceso las tensiones que predominan son de tracción. Este proceso se usa en la producción de chapas y conformado de piezas de secciones varias. Los procesos de tracción incluyen a: estirado uniaxial y biaxial.

En este proceso, la conformabilidad es función del alargamiento en un ensayo de tracción uniaxial, mientras más alargamiento soporta el metal, más profunda y curvas más severas se podrá dar al mismo.

Aún no está definida la máxima cantidad de deformación real en un determinado punto que puede ser estirado un metal, pues ésta depende del proceso de conformado y del perfil de la pieza. Si comparamos con un ensayo de tracción, el alargamiento es algo menor para piezas finas y de contorno uniforme, algo mayor para piezas más gruesas y de contornos mas complicados. El límite de conformabilidad depende también del estado de tensiones, es decir, si la tracción se produce en una sola dirección o en dos mutuamente perpendiculares. Una chapa puede estirarse en cualquiera de estas direcciones, pero el objetivo del estirado es impedir el desarrollo de tensiones de compresión, para que no se produzca pandeo u ondulado, que a veces sucede cuando se tracciona uniaxialmente. Además las tensiones de tracción deben controlarse para evitar la rotura del material.

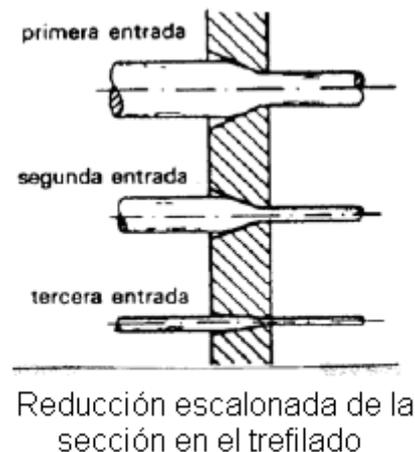


Figura N° 1.3 Proceso de Trefilado en compresión Indirecta

#### 1.2.4 PROCESOS DE FLEXIÓN.

En este proceso se obtiene la flexión debido a la aplicación de un momento, en el metal sometido a flexión, existe gran variación de tensiones en una misma sección transversal. Los procesos de flexión incluyen al doblado: plegado,

rolado, perfilado, embutido y repujado rotativo (fig.1.4). Pasa de un estado de tracción en la fibra externa a compresión en la interna.

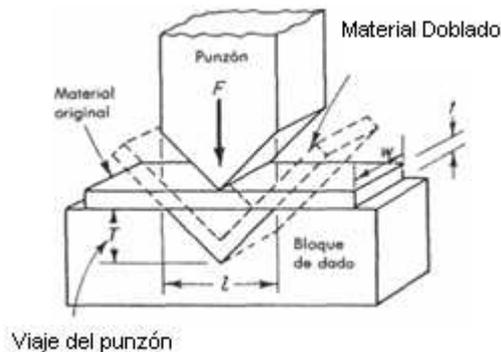


Figura N° 1.4 Proceso de plegado

#### 1.2.4.1 DOBLADO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión en el que el metal es obligado a tomar nuevas formas por movimiento o flujo plástico. Sin alterar su espesor de forma que todas las secciones permanezcan constantes.

El doblado abarca procesos como son: plegado, rolado, perfilado, embutido, repujado. La clasificación de estos tres procesos se los hace tomando en cuenta los medios utilizados para realizar el doblado así: procesos que utilizan matriz émbolo y procesos que utilizan rodillos.

#### 1.2.4.2 PLEGADO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión, mediante la cual se deforma una parte de la chapa según una forma prevista.

#### 1.2.4.3 ROLADO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión, mediante el cual se deforma una lámina metálica y se le da forma de superficie desarrollable,

considerando como tal, la que puede extenderse sobre un plano sin sufrir deformación.

#### 1.2.4.4 PERFILADO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión, que consiste en fabricar perfiles de longitud considerable por medio de curvado o doblado de tiras de láminas metálicas.

#### 1.2.4.5 EMBUTIDO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión, que consiste en darle una forma cóncava hueca a la lámina, por deformación de la misma manteniendo el espesor.

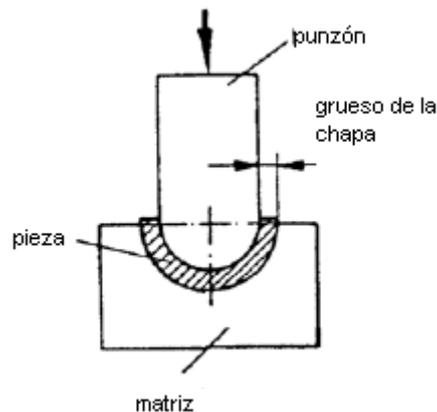


Figura N° 1.5 Proceso de Embutido

#### 1.2.4.6 REPUJADO

Es un proceso de conformado mecánico por flexión, conocido también como embutido a torno y consiste en obtener de un disco plano de chapa o una pieza previamente embutida, un recipiente o una figura de revolución de forma cóncava.

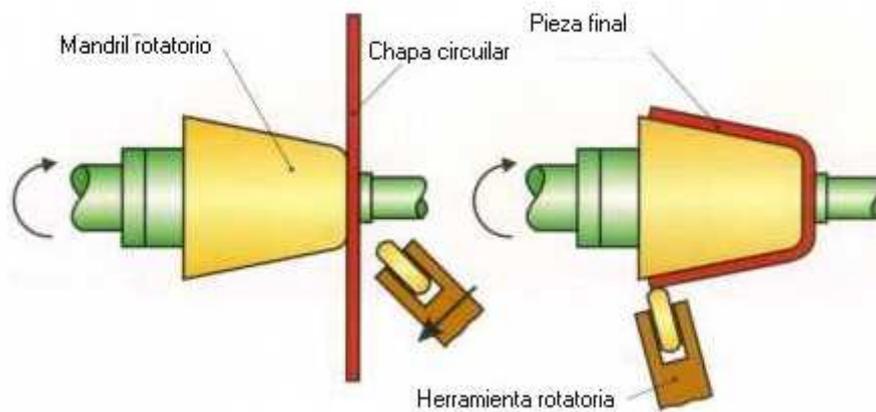


Figura N° 1.6 Proceso de Repujado

## 1.2.5 PROCESO DE CORTE

El corte es un proceso de conformado plástico sin arranque de viruta que sirve para la preparación y acabado en la fabricación de piezas metálicas. En la operación un pequeño volumen de metal es deformado plásticamente hasta que se produce la fractura del mismo, este proceso influye al: cizallado y punzonado.

### 1.2.5.1 CIZALLADO

Es un proceso de conformado mecánico por corte, el cual implica al metal a someterlo a tensiones cortantes arriba de su resistencia, hasta obtener la superficie del metal. Esto se lo realiza por medio de guillotinas.

### 1.2.5.2 PUNZONADO

Es un proceso de conformado mecánico que consiste en practicar sobre chapa un agujero de forma determinada, mediante una estampa Matriz-Punzón.

## 1.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

La metalurgia física es la ciencia que se ocupa de las propiedades físicas y mecánicas de los metales. Las propiedades de los metales y aleaciones son afectadas por tres variables:

**1.3.1 Propiedades químicas.-** Son aquellas que el metal adquiere mediante la adición de diversos elementos químicos.

**1.3.2 Propiedades físicas.-** Son aquellas que no son afectadas mediante fuerzas externas como el color, la densidad, la conductividad o la temperatura de fusión.

**1.3.3 Propiedades mecánicas.-** Son aquellas que son afectadas por fuerzas exteriores, como el laminado, formado, estirado, doblado, soldadura y maquinado. Para comprender mejor el uso de los diversos metales, es necesario familiarizarse con los siguientes términos:

**1.3.4 Tenacidad:** Es la resistencia que opone un cuerpo a romperse por impacto, un cuerpo es tanto más tenaz cuando el choque necesario para romperlo tenga que ser más fuerte

**1.3.5 Fragilidad:** Es la facilidad con la que un cuerpo se rompe por un choque, es la propiedad opuesta a la tenacidad, los materiales frágiles son los que fallan sin deformación permanentemente apreciable una sustancia frágil tiene también baja resistencia al choque o al impacto; a la aplicación rápida de fuerzas un ejemplo de metal frágil es la fundición blanca ordinaria del hierro

**1.3.6 Elasticidad:** Es la capacidad del metal de regresar a su forma original después de que haya desaparecido cualquier fuerza que actuara sobre él.

**1.3.7 Plasticidad:** Es la propiedad del cuerpo, en la cual una deformación se hace permanente, si sobre un cuerpo plástico ejercemos una fuerza este se

deforma, cuando la fuerza desaparece la deformación permanece, la propiedad opuesta a plasticidad es la elasticidad, ejemplo la arcilla fresca es plástica, si se aplica una fuerza sobre ella se deforma, cuando deja de ejercer la fuerza la deformación permanece.

**1.3.8 Maleabilidad:** Es la propiedad del metal que permite que se le martille o lamine a diferentes tamaños y formas, la maleabilidad permite la obtención de delgadas láminas de material sin que esté se rompa.

**1.3.9 Ductilidad:** Es la propiedad que presentan algunos metales y aleaciones cuando bajo la acción de una fuerza pueden estirarse sin romperse permitiendo obtener alambres o hilos. A los metales que presentan esta propiedad se les denomina dúctiles.

**1.3.10 Dureza:** Se puede definirse como la resistencia a la penetración por fuerza o a la deformación plástica. Existen diversos medios para determinar la dureza de un metal, como son: metodo Brinell, Vickers, Rockwell.

**1.3.11 Método Brinell:** Consiste en marcar sobre la superficie de la pieza una huella permanente, mediante una esfera de acero durísimo sobre la que se aplica, sin choque una carga prefijada (fig.1.7).

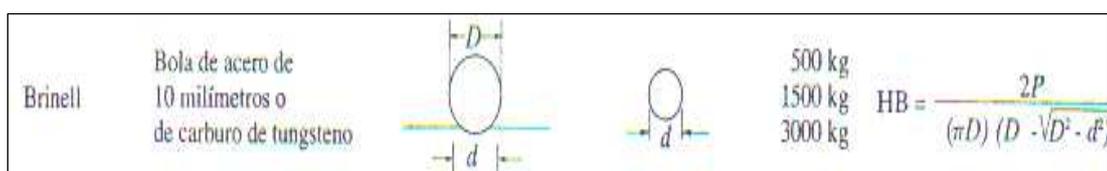


Figura N°. 1.7 Método Brinell

**1.3.12 Método Vickers:** Consiste en emplear un penetrador de diamante en forma de pirâmide de base cuadrada, con un ángulo en el vértice de 136°, es decir, igual al ángulo de ataque necesario para conseguir una huella regular. (fig.1.8).

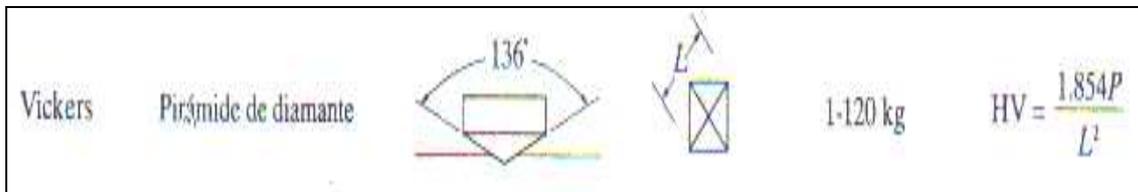


Figura N°. 1.8 Método Vickers

**1.3.13 Método Rockwell:** Consiste en comprimir la superficie del material por medio de un penetrador (compuesto de una bola o un cono) sometido a la acción de una carga preestablecida y medir la profundidad alcanzada por el propio penetrador (fig.1.9).

Rockwell			kg		
A C D	Cono de diamante		60	HRA	= 100 - 500r
			150	HRC	
			100	HRD	
B F G	Bola de acero de 1/16" de diámetro		100	HRB	= 130 - 500r
			60	HRF	
			150	HRG	
E	Bola de acero de 1/8" de diámetro		100	HRE	

Figura N° 1.9 Metodo Rockwell

El grado de dureza viene dado por la penetración en el material del objeto que se considera en cada método.

**1.3.14 Resistencia a la tracción:** Es la cantidad máxima de tracción que el material soportara antes de romperse. Se expresa como la cantidad de fuerza por sección en kilogramos por centímetro cuadrado.

## 1.4. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN

A través del diagrama esfuerzo-deformación podemos determinar las propiedades y características de los materiales como se muestra en la (fig.1.10).

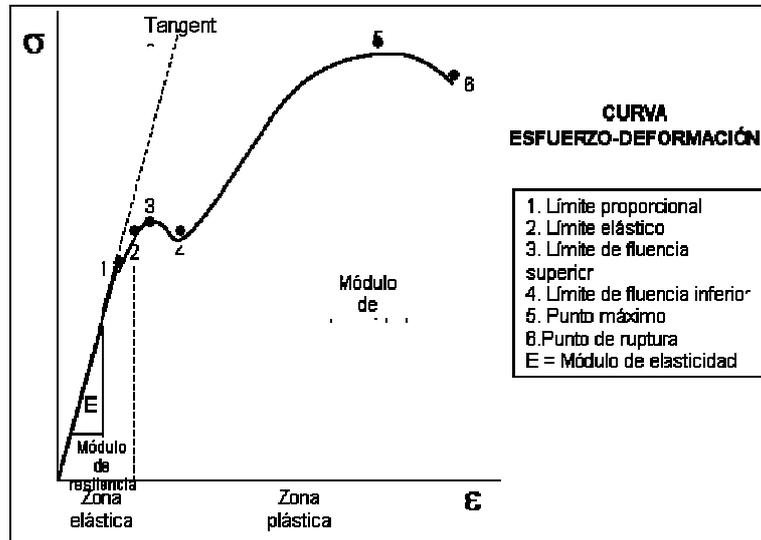


Figura N° 1.10 Diagrama Esfuerzo - Deformación

La curva tensión-deformación se puede usar para determinar varias características de resistencia del material. Estas son:

### 1.4.1 LIMITE DE PROPORCIONALIDAD:

La máxima tensión que se puede producir durante un ensayo de tracción simple de modo que la tensión sea función lineal de la deformación (punto 1 fig.1.10).

### 1.4.2 LIMITE ELÁSTICO:

La tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de tracción simple de muchos materiales son casi idénticos los valores numéricos del límite elástico y del límite de proporcionalidad, por lo que a veces se consideran sinónimos. En los casos en que es notoria la diferencia, el límite elástico es casi siempre mayor que el de proporcionalidad (punto 2 fig.1.10).

### **1.4.3 ZONA ELÁSTICA:**

Es la región de la curva tensión-deformación que va desde el origen hasta el límite de proporcionalidad.

### **1.4.4 ZONA PLÁSTICA:**

Es la región de la curva tensión-deformación que va desde el límite de proporcionalidad hasta el punto de rotura.

### **1.4.5 LIMITE ELÁSTICO APARENTE O DE FLUENCIA:**

Es la ordenada del (punto 3 fig.1.10) en el que se produce un aumento de deformación sin aumento de tensión se le conoce por límite elástico aparente o límite de fluencia del material. Cuando la carga ha aumentado hasta el punto Y, se dice que se produce fluencia. Algunos materiales presentan en la curva tensión-deformación dos puntos en los que hay aumento de deformación sin que aumente la tensión. Se les conoce por límites de fluencia superior e inferior.

### **1.4.6 RESISTENCIA A TRACCIÓN:**

Es la ordenada del punto 5 (fig.1.10), máxima de la curva, se llama resistencia a tracción o, a veces, resistencia última del material.

### **1.4.7 RESISTENCIA DE ROTURA:**

Se llama resistencia de rotura del material (punto 6 fig.1.10).

### **1.4.8 MÓDULO DE RESILENCIA:**

El trabajo realizado en un volumen de unidad de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta un valor tal que se alcance el límite de proporcionalidad del material, se define como módulo de resiliencia. Puede calcularse por el área bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta el límite de proporcionalidad, la resiliencia de un material es su capacidad de absorber energía en la zona elástica.

### **1.4.9 MÓDULO DE TENACIDAD:**

El trabajo realizado en un volumen unidad de material cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta el valor que produce la rotura, se define como módulo de tenacidad. Puede calcularse por el área total bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta la rotura. La tenacidad de un material es su capacidad de absorber energía antes de su rotura.

### **1.4.10 ALARGAMIENTO DE ROTURA:**

La relación entre el aumento de longitud (de la longitud patrón) después de la fractura y la longitud inicial, multiplicada por 100, es el alargamiento de rotura. Se considera que tanto la estricción como el alargamiento de rotura son medidas de la ductilidad del material.

## **1.5 EL PROCESO DE DOBLADO**

### **1.5.1 ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS DEL DOBLADO.**

“Actualmente las operaciones de doblado son muchas y muy variadas, y su éxito depende de la tenacidad del material a usarse. En operaciones simples de doblado, un lado de la pieza de trabajo se deforma bajo tensión y el otro bajo compresión. Pero en el doblado a nivel industrial generalmente se combina con compresión y alargamiento”.<sup>3</sup>

El procedimiento para el doblado de tubos cuadrados aplica los mismos principios utilizados en el doblado de barras, chapas metálicas o cualquier material en general, siendo los principales los siguientes:

Un método de ensayo comúnmente utilizado para los materiales frágiles es el ensayo de flexión. Por lo general involucra un espécimen que tiene una sección transversal rectangular y esta soportado en sus extremos (fig.1.11) la carga es aplicada verticalmente como flexión en tres puntos o en cuatro puntos

---

<sup>3</sup> CARDENAS, (1985), *Introducción al conformado Mecánico*. EPN.

respectivamente. Los esfuerzos son a tensión en sus superficies inferiores y a la compresión en sus superficies superiores.

La figura 1.11 representa dos métodos de ensayo de flexión de materiales frágiles: (a) flexión en tres puntos; (b) flexión en cuatro puntos. Obsérvese la región de momento de flexión máximo constante en (b); en comparación, en (a) el momento de máxima flexión ocurre solo en el centro de la probeta.

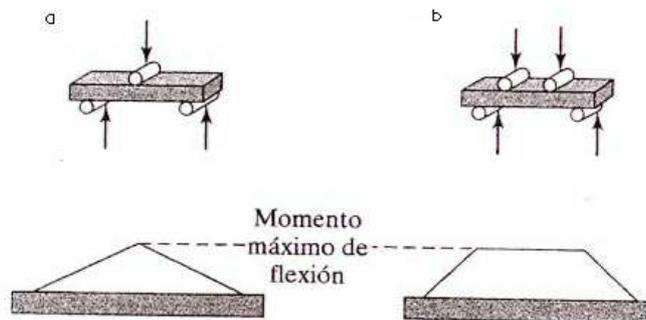


Figura N° 1.11 Flexión de materiales Frágiles

Estos esfuerzos se pueden calcular utilizando ecuaciones de viga simples. Los esfuerzos a la fractura en flexión se conoce como el modulo de ruptura, o resistencia a la ruptura transversal obsérvese que, debido al mayor volumen de material sujeto al mismo momento de flexión en la (fig. 1.11b), existe una probabilidad más elevada que existan defectos en este volumen que el correspondiente a la (fig. 1.11a). En consecuencia, el ensayo de cuatro puntos da un módulo de ruptura inferior que el ensayo de tres puntos.

El proceso de doblado supone además el trabajar más allá de la zona elástica en el material del tubo, de modo, que para conseguir el doblado deberá deformarse plásticamente, razón por la cual se desea que dicho material posea suficiente ductilidad con el fin de que no se rompa. Al doblar un material, se produce una deformación en la que las fibras exteriores resultan estiradas y las interiores, por el contrario se comprimen (figura 1.12), esto se debe a que en las operaciones simples de doblado, al un lado de material se deforma bajo tensión y el otro bajo compresión.

El espesor de la pared del perfil afecta la distribución del esfuerzo de tracción y compresión durante el doblado, debido a que el material experimenta en la

zona de tracción un adelgazamiento que provoca en esta zona aplastamiento o fisura, entonces un tubo de pared gruesa normalmente se doblará con mayor facilidad a un radio pequeño que un tubo de pared delgada.

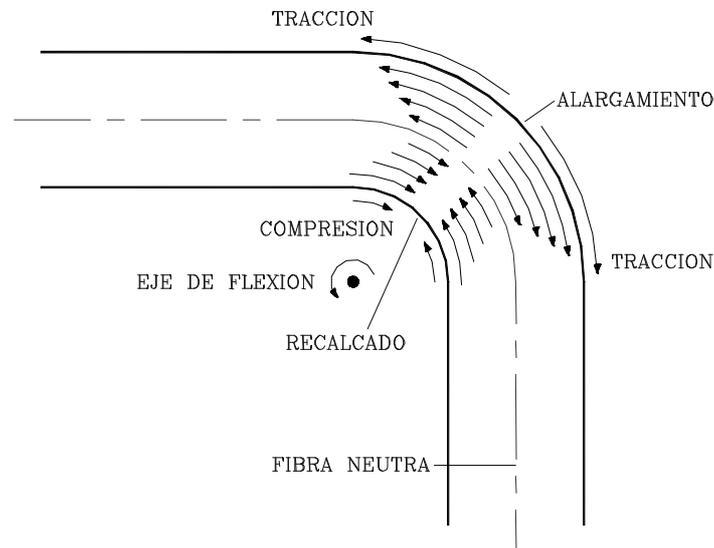


Figura N° 1.12 Deformación de las Fibras en el doblado

Entre las capas de las fibras deformadas se encuentra la fibra neutra indicada en la figura 1.12 y cuya longitud permanece invariable con el curvado o doblado.

## 1.6 DOBLADO DE LÁMINAS Y PLACAS

El doblado es una de las operaciones más comunes de formado. Tan solo hay que ver las piezas de un automóvil o de un electrodoméstico, o un broche de papel o un archivero, para apreciar cuantas piezas se conforman por doblado. El doblado no solo se usa para formar bridas, uniones y corrugados, sino también para impartir rigidez a la pieza, al aumentar su momento de inercia.

En la (fig. 1.13), se ilustra la terminología del doblado. En el doblado, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión. A causa de la relación de Poisson, el ancho de la pieza (longitud del doblado,  $L$ ) en la región externa es menor, y en la interna es mayor, que el ancho original. Este fenómeno se puede observar con facilidad al doblar una goma de barra rectangular.

La holgura o tolerancia en el doblado es la longitud del eje neutro en el doblado, y se usa para determinar la longitud de la pieza bruta con que se fabrica una pieza doblada. Sin embargo, la posición del eje neutro depende del radio y del ángulo del doblado. Una fórmula aproximada de la holgura del doblado,  $L_b$ , es la siguiente:

$$L_b = \alpha ( R + \kappa T ) \quad (1.1)$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo de doblado (en radianes)  $T$  es el espesor de la lámina,  $R$  es el radio del doblado y  $k$  es una constante la misma que depende del espesor del material de la chapa. Para el caso ideal, el eje neutro está en el centro del espesor de la lámina;  $k = 0.5$ , quedando (1.1).

$$L_b = \alpha \left[ R + \frac{T}{2} \right]$$

En la práctica los valores de  $k$  se suele hacer variar de 0.33 (para  $R < 2T$ ) a 0.5 (para  $R > 2T$ ).

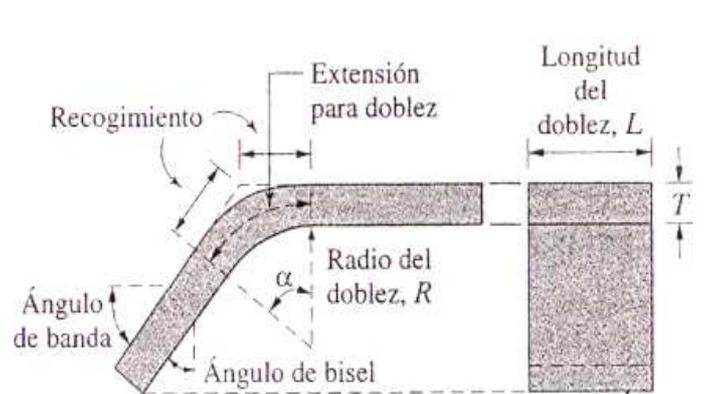


Figura Nº 1.13 Terminología del doblado.

## 1.7 DOBLADO DE TUBOS

Los tubos se pueden doblar por algunos métodos, los mismos que pueden ser accionados por mecanismos mecánicos, neumáticos, hidráulicos, eléctricos, o mixtos y estos a su vez pueden ser manuales, semiautomáticos y automáticos.

Los métodos comunes de doblado de tubos son:

Por estiramiento o escurrido.

Por compresión o contorneado.

Por rodillos

A tracción

Por prensa.

### 1.7.1 Doblado por estiramiento o escurrido.

En este método, la pieza de trabajo es sujeta por una abrazadera contra el bloque formador rotativo y el resto del tubo se apoya en la barra de presión, y la forma se obtiene al girar el bloque formador rotativo contra la barra de presión (figura 1.14.).

La barra de presión se encuentra asociado a la estructura de la máquina, pero puede desplazarse en el sentido del eje longitudinal del tramo del perfil que no está siendo doblado, mientras la abrazadera que aprisiona al perfil contra el bloque formador rotativo gira solidaria a ésta, provocando la deformación plástica que hace que el perfil tome la geometría deseada.

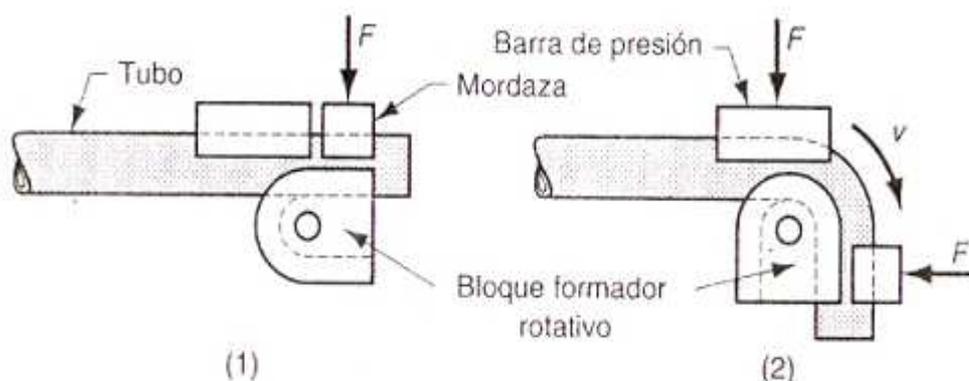


Figura N° 1.14. Doblado por estiramiento

Durante este proceso de doblado, los diferentes elementos que realizan el trabajo deben cumplir ciertas características, las más importantes son:

- a. La barra de presión fija, debe ser capaz de resistir la abrasión causada por el deslizamiento del metal del perfil sobre su superficie, por lo que debe ser pulida para permitir el deslizamiento del tubo.
- b. En una barra de presión móvil, la superficie de contacto deberá ser lo suficientemente rugosa, para que se desplace con el perfil a lo largo de su eje longitudinal durante el proceso de doblado.
- c. El bloque formador rotativo y la abrazadera deben estar acanalados para fijar la pieza de trabajo. La barra de presión es también acanalado, para proporcionar un mejor guiado y un comportamiento más uniforme en el material del perfil. La presión mecánica proporcionada por la máquina durante el proceso, mantiene el ajuste entre la barra de presión y la pieza de trabajo (tubo).
- d. La profundidad de la acanaladura en el bloque formador rotativo y la barra de presión, se recomienda la mitad del diámetro exterior del perfil, para de esta manera evitar el aplastamiento y facilitar de esta manera tanto la colocación como la extracción del mismo.
- e. La acanaladura de la abrazadera debe estar dimensionada con el diámetro exterior del perfil, y su acabado superficial no debe ser demasiado pulido para evitar que éste deslice y mantenga la sujeción debida.
- f. Se considera que éste método es la mejor elección cuando hay que trabajar sobre piezas de radio pequeño y de pared delgada.

### 1.7.2 Doblado por compresión o contorneado.

La pieza de trabajo, está sujeta mediante una mordaza a un bloque formador fijo y se le obliga a envolverse en torno a ésta usando para ello una zapata deslizante (figura 1.15.) Estos aditamentos presentan la misma forma geométrica que las utilizadas por el método de estirado.

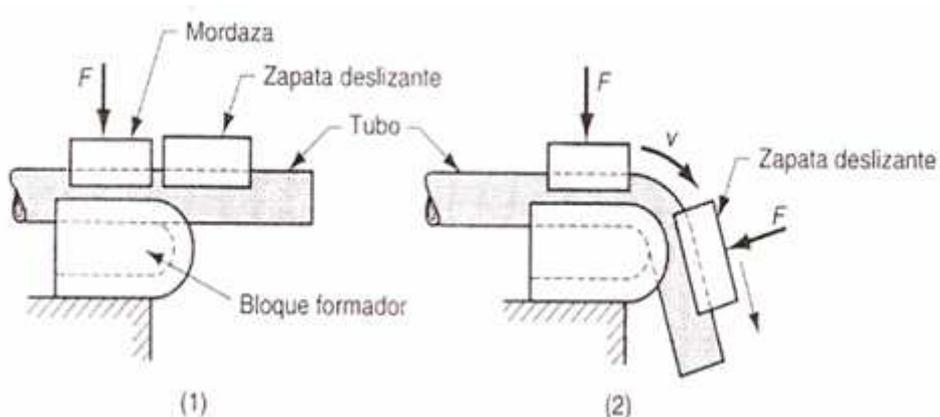


Figura N° 1.15. Doblado por compresión.

La zapata deslizante está hecha de acero con alto contenido de carbono y sometida a un proceso de endurecido para resistir el desgaste. Entre los más comunes que se utilizan para su fabricación está el acero para herramientas (Ejemplo O1, A2, D2) con durezas de 55 a 60 Rockwell C, o bronce al aluminio.

Aunque el doblado por compresión no controla perfectamente el flujo de material como el doblado por estiramiento, se usan ampliamente en prensas y máquinas rotativas de doblado.

### 1.7.3 Doblado con rodillos.

En este método, se usan tres o más rodillos paralelos, los mismos que se disponen en varias formas. En uno de los arreglos que se usan tres rodillos, los ejes de los dos inferiores están fijos en un plano horizontal a una distancia determinada.

El rodillo superior es libre y se desplaza verticalmente hacia el plano de los rodillos inferiores para realizar el doblado, como muestra la (figura 1.16).

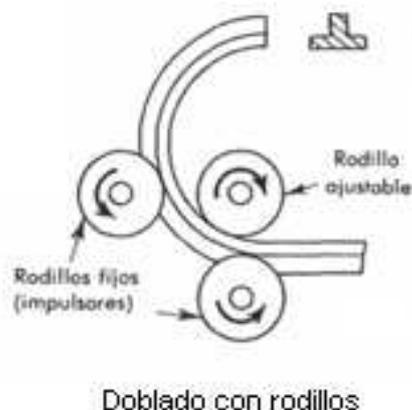


Figura Nº 1.16 Doblado con rodillos.

Los rodillos inferiores son accionados mediante un sistema de transmisión que puede ser impulsado manualmente o acoplado a un motor reductor. La fricción que existe entre estos y la pieza de trabajo permiten el movimiento de avance del perfil por entre los tres rodillos.

El rodillo superior, es desplazado verticalmente utilizando medios mecánicos (tornillo de potencia o pistón hidráulico), con el fin de variar el radio de doblado. El doblado con rodillos es poco práctico para hacer más de una curvatura en un perfil.

Además es difícil controlar la recuperación elástica en un doblado con rodillos, por ello se hace necesario realizar varias pasadas a través de los rodillos hasta obtener el doblado deseado. Es por eso que éste método de doblar es más lento, comparándolo con los otros, lo que significa una desventaja frente a los otros métodos de doblado.

Una desventaja particular de este método es que una sección corta de cada extremo del perfil se queda sin doblar por lo que las puntas deben ser

preformadas al radio de curvatura deseado en una prensa, antes del doblado, o luego de obtener la pieza doblada, se deberá cortar las partes rectas.

#### 1.7.4 Doblado a tracción.

Se usa para doblar grandes curvas irregulares; el perfil se sujeta en los extremos por medio de mordazas y es doblado conforme se estira alrededor de una matriz fija.

Usualmente hay menos recuperación elástica cuando el trabajo se realiza mientras se estira. Los extremos sujetos deben ser cortados una vez concluido el proceso de doblado, debido a la deformación que estos sufren por acción de la sujeción de las mordazas.

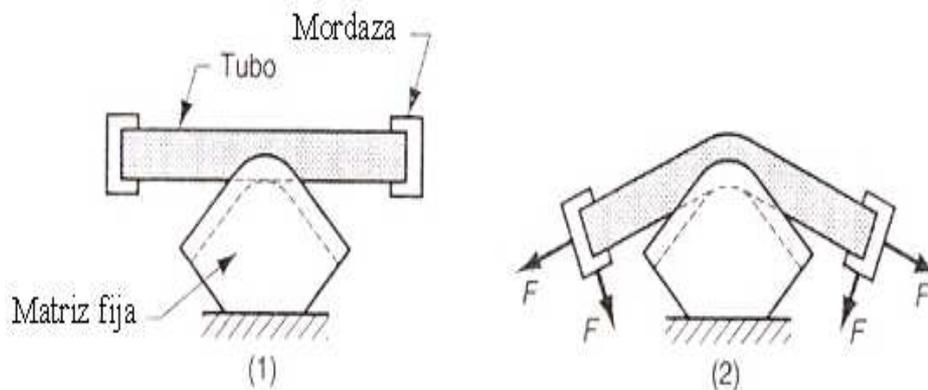


Figura N° 1.17 Doblado a tracción.

#### 1.7.5 Doblado en prensa.

Se lleva a cabo prensando la pieza de trabajo entre una matriz móvil, la que se desplaza según la carrera del pistón, y dos aros de presión que rotan sobre ejes fijos (figura 1.18). Puede utilizarse una prensa de carrera fija pero es más apropiada una prensa de carrera ajustable.

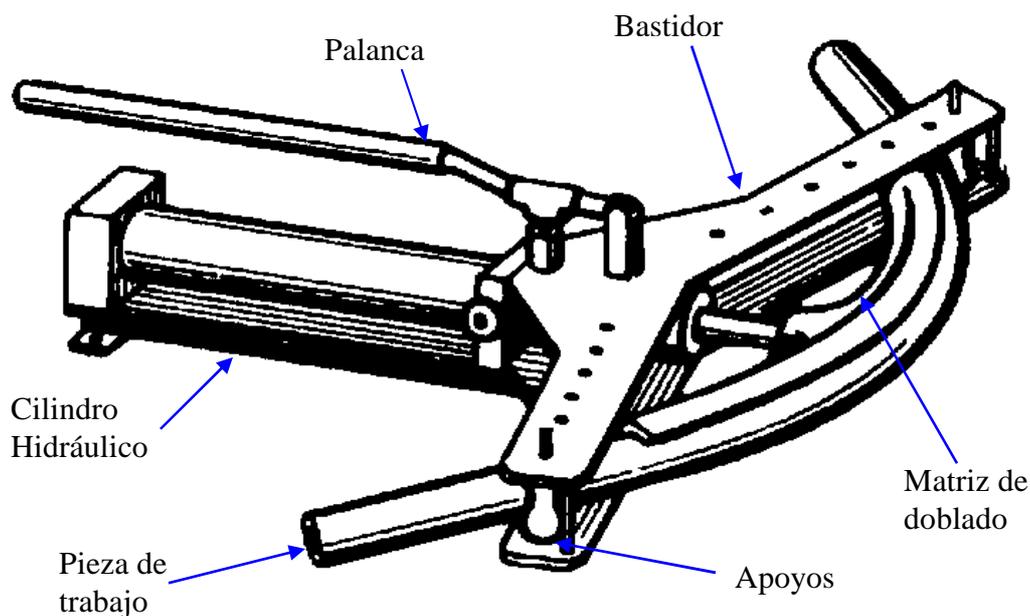


Figura N° 1.18. Doblado en prensa hidráulica.

Este método de doblado es más rápido para efectuar dobleces en serie, siendo sus tasas de producción comúnmente, superiores a 1500 dobleces por hora.

Al desplazarse la matriz por la acción de la prensa, el perfil se presiona contra los dados, los cuales al girar sobre sus ejes provocan el curvado del perfil, obligándolo a tomar la forma de la matriz.

Para obtener un ángulo de curvatura determinado bastará detener la carrera del pistón en un punto tal que se consiga el ángulo de curvatura previsto.

Este método es aplicable cuando se desea doblar perfiles de paredes gruesas, debido a que, mientras mayor es el espesor de pared, mayor será la fuerza necesaria.

## 1.8 FACTORES Y PARÁMETROS DEL DOBLADO.

Los principales factores que intervienen en el proceso de conformado mecánico o en el doblado además hay que considerar dos que intervienen en los

procesos de trabajado de metales la fricción y la recuperación elástica. La temperatura de doblado, ya que éste proceso se lo puede realizar en frío o en caliente, con la velocidad y la misma estructura.

### **1.8.1 LA TEMPERATURA DEL CONFORMADO**

Los dos tipos principales de trabajo mecánico en los cuales el material puede sufrir una deformación plástica y cambiarse de forma son trabajos en caliente y trabajos en frío.

La temperatura de recristalización de un metal determina si el trabajo en caliente o en frío está siendo cumplido o no. El trabajo en caliente de los metales toma lugar por encima de la recristalización o rango de endurecimiento por trabajo. El trabajo en frío debe hacerse a temperaturas abajo del rango de recristalización y frecuentemente es realizado a temperatura ambiente.

Para el acero la recristalización permanece alrededor de 500 a 700 °C, no se trabaja en este rango (es máquina inestable) la mayoría de los trabajos en caliente del acero se hacen a temperaturas considerablemente altas de este rango. No existe tendencia al endurecimiento por trabajo mecánico hasta que el límite inferior del rango de recristalización se alcanza. Algunos metales, tales como el plomo y el estaño, tienen bajas temperaturas de recristalización y pueden trabajarse en caliente a temperatura ambiente, pero la mayoría de los metales comerciales requieren de algún calentamiento. Las composiciones aleadas tienen una gran influencia sobre todo en el rango de trabajo conveniente, siendo el resultado acostumbrado aumentar la temperatura de recristalización; este rango puede incrementarse por un trabajo anterior en frío.

#### **1.8.1.1 CONFORMADO EN CALIENTE**

Cuando al metal se le trabaja en caliente, las fuerzas requeridas para deformarlo son menores y las propiedades mecánicas se cambian considerablemente. Durante todas las operaciones de trabajo en caliente, el

metal está en estado plástico y es formado rápidamente por presión. El trabajo en caliente del acero tiene las ventajas siguientes:

La porosidad en el metal es considerablemente eliminada. La mayoría de los lingotes fundidos contienen pequeñas sopladuras. Las impurezas en forma de inclusiones son eliminadas y distribuidas a través del metal. Los granos gruesos o prismáticos son refinados. La ductilidad y la resistencia al impacto se incrementan, su resistencia mecánica disminuye y se desarrolla una gran homogeneidad en el metal. La cantidad de energía necesaria para cambiar la forma del acero en estado plástico es mucho menor que la requerida cuando el acero está siendo deformado en frío.

Todos los procesos de trabajo en caliente presentan algunas desventajas; debido a la alta temperatura del metal existe una rápida oxidación o escamado de la superficie. Como resultado del escamado no pueden mantenerse tolerancias precisas. El equipo para trabajo en caliente y los costos de mantenimiento son altos, el proceso es económico comparado con el trabajo de metales a bajas temperaturas para grandes deformaciones.

#### **1.8.1.2 CONFORMADO EN FRÍO**

Cuando a un metal se le trabaja en frío, se requieren grandes fuerzas, pero el esfuerzo propio del metal se incrementa permanentemente. Se dice que un material es conformado en frío, cuando la temperatura de deformación no llega a producir cambios en su micro-estructura.

Las ventajas de conformado en frío son: proporciona mejor precisión, tolerancias más estrechas. Buenos acabados superficiales. El incremento de la resistencia y dureza de la parte deformada.

Requiere mayor potencia que el trabajo en caliente para desempeñar las operaciones. Se debe tener cuidado para asegurar que las superficies de la pieza de trabajo inicial estén libres de incrustaciones y suciedad. La ductilidad y

el endurecimiento por deformación del metal de trabajo limitan la cantidad de formado que se puede hacer sobre la pieza.

En la industria se combinan los dos procesos aprovechando las ventajas de cada uno; en caliente hay mayor deformación y en frío se logran mejores acabado de tolerancias más estrechas.

### **1.8.2 LA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN EN EL CONFORMADO**

La velocidad de deformación, es un factor que tiene muy poca influencia en las operaciones de doblado. El comportamiento de los metales en los procesos de conformación puede depender de la velocidad de deformación, la mayoría de los metales de estructura cúbica centrada cambian su comportamiento de dúctiles a frágiles dentro de un determinado rango de temperatura y si la velocidad de deformación es considerablemente alta, el fenómeno de la temperatura de transición resulta más significativo.

### **1.8.3 LA MICRO ESTRUCTURA EN EL CONFORMADO**

Con respecto a las estructuras metalúrgicas, estas si influyen en el doblado, pues la fuerza requerida para realizar este proceso está directamente relacionada con el límite elástico del material y dicho límite depende a su vez tanto de la estructura metalúrgica como de la composición de la aleación.<sup>4</sup>

La fuerza necesaria para realizar una operación de doblado, está relacionada directamente con el límite de fluencia del material que se trabaja y esta depende del micro-estructura metalúrgico y de la composición de la aleación.

**1.8.4 Fricción:** La fricción es el factor más incierto en el análisis de las operaciones de conformado mecánico en general, debido a la gran dificultad de medir las fuerzas de fricción engendradas entre la pieza y la herramienta.

---

<sup>4</sup> CARDENAS, (1985), *Introducción al Conformado Mecánico*. EPN.

Los factores de los que depende éste coeficiente son: material de la herramienta, rugosidad de las superficies, velocidad de doblado, temperatura de trabajo y el tipo de lubricante.

**1.8.5 Recuperación Elástica:** se presenta en todas las operaciones de conformado mecánico, pero es en el doblado donde se hace más fácil de reconocer y estudiar. En materiales dúctiles al realizar el proceso de doblado, se debe tomar en cuenta la recuperación elástica del material, para obtener la dimensión final. Al cargar un cuerpo y luego descargarlo el mismo recupera su configuración geométrica inicial.

La recuperación elástica no tiene que ser instantánea, pero siempre que el cuerpo recupere su configuración inicial (en forma instantánea o no), se considera que el mismo es elástico.

Es el caso en que un cuerpo sometido a la acción de cargas exteriores, no recupera su configuración geométrica inicial luego de ser retiradas las mismas queda una deformación plástica permanente o remanente que es lo que caracteriza a la plasticidad.

## **1.9 PARÁMETROS DE DOBLADO**

Los parámetros que rigen para ejecutar dicha operación son básicamente:

Capacidad de ángulo de doblado, Capacidad del radio de doblado, Características y especificaciones técnicas del perfil a doblar.

### **1.9.1 Capacidad del ángulo de giro.**

La capacidad del ángulo de giro varía según el tipo de máquina, por ejemplo, en el caso de las dobladoras de rodillos tractores (roladora) se podría doblar perfiles hasta un ángulo de giro de 360° con un radio de curvatura grande (> 500mm).

### **1.9.2 Radio Mínimo de Doblado.**

La capacidad de radio mínimo de doblado en una operación está fijada por el fabricante de la máquina o a pedido del cliente que desea la máquina tomando en cuenta evitar que las superficies sometidas a esfuerzos de deformación se agrieten, arruguen, aplasten o se rompan.

El radio mínimo de doblado de tubos redondos suele expresarse en múltiplos del diámetro exterior. Así, un radio de doblado 3D indica que el tubo se puede doblar con un radio igual a tres veces el diámetro del tubo, sin que en él se produzcan grietas.

Para este proyecto de una dobladora manual el ángulo de doblado será de 0 a 180°, donde el ángulo depende de la forma de la matriz a utilizar.

## **1.10 PROBLEMAS EN EL DOBLADO**

En el proceso de doblado de perfiles, a medida que la operación se lleva a cabo se pueden producir ciertos problemas, entre los principales se tiene: arrugamiento, jorobas en la parte externa del doblado, rayado en el lado de la mordaza, pliegues en el área de doblado, aplastamiento, marcas de la herramienta sobre la línea de centro, desgarramiento y recuperación elástica, con aumento de radio de giro. Los problemas más comunes que se presentan en las superficies dobladas son: arrugamiento, aplastamiento, recuperación elástica y rayaduras superficiales. Estos problemas de doblado, son considerados los más importantes, y se los puede agrupar según las causas en cinco categorías generales, deslizamiento del perfil a través de la abrazadera - causando arrugamiento, demasiado ajuste sobre el perfil, insuficiente ajuste sobre el perfil y tamaño disparejo entre la ranura del perfil y el perfil o desalineado.

Un problema crónico que no desaparece después de corregir la posición y la alineación usualmente indica que la herramienta está desgastada. Un problema

ocasional puede ser debido a los cambios en las dimensiones del perfil. La mejor manera de arreglar los problemas del doblado es hacer un pequeño cambio o pocos cambios a la vez, ya que así se concibe fácilmente los efectos de un cambio individual.

“El doblado de perfiles se requiere el uso de medidas especiales, para evitar las deformaciones no deseadas de los perfiles huecos, puesto que, de lo contrario, estos se aplastarían en lugar de que exista la flexión. En este caso, la superficie exterior del lugar de flexión tiene la tendencia de acercarse al eje neutro, mientras que la superficie interior se aleja hacia el exterior”<sup>5</sup>.

Según la clase de perfil, se presentan adicionalmente esfuerzos por compresión y tensiones por tracción locales que pueden hacer difícil la operación de doblado. En el caso de doblado de ángulos, que se lo hace frecuentemente con dispositivos o de dobladoras de perfiles especiales como roladoras de tres rodillos acanalados. Se producen intensas fuerzas de tracción cuando el ala se encuentra hacia afuera, ya que durante el doblado en el ala exterior se produce un alargamiento del material y, debido a eso, una reducción del espesor y ancho del ala. Al doblar un ángulo con el ala hacia dentro, se comprime el material de trabajo en el ala interior y puede acabar en forma ondulatoria, como indica la figura 1.19. En muchos de estos casos, si se está doblando manualmente se aplican algunos golpes de martillo, para así aplanar la pieza, aumentando el grueso y ancho del ala.

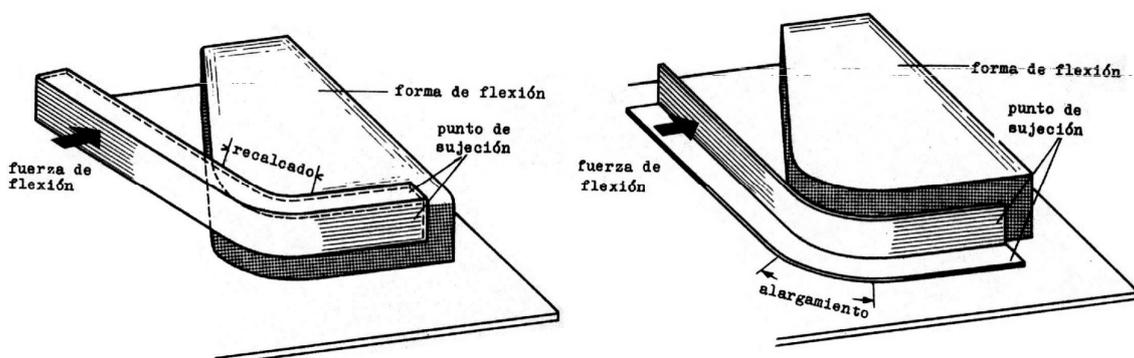


Figura N° 1.19. Efectos en el doblado de ángulo.

<sup>5</sup> Ed. ABB. *Prácticas elementales para el trabajo de los metales doblar*, Pág. 02 07 3 56.

Para evitar los distintos problemas en el doblado de perfiles (cuerpos huecos) se recurre frecuentemente al uso de medidas como por ejemplo: calentamiento, llenado de perfiles huecos, empleo de mandriles.

**1.10.1 Calentamiento:** Se calienta la pared del perfil en diferentes sitios en el lugar de la flexión durante el proceso de doblado. La necesidad de calentar los perfiles a doblar depende del radio de giro, materiales del perfil y diámetro o ancho del perfil.

En perfiles de pared delgada, se calienta más la parte interior del lugar de doblado que la parte exterior, para que la operación pueda hacerse con más facilidad en el lado interior. En tubos de mayores diámetros o perfiles anchos se calienta y dobla un pedazo tras otro en forma de segmento.

## 1.11 DOBLADO DE PERFILES

**1.11.1 Llenado de perfiles Huecos:** Se utiliza esta medida, llenando al perfil hueco con arena bien comprimida por medio de golpes aplicados de abajo hacia arriba al tubo hueco de modo que el perfil pueda oponer una resistencia suficiente a la deformación por la flexión (aplastamiento).

Es necesario que la arena esté bien seca, especialmente cuando se realicen doblados en caliente. Hay que cerrar los extremos del perfil con tapones como se muestra en la figura 1.20.

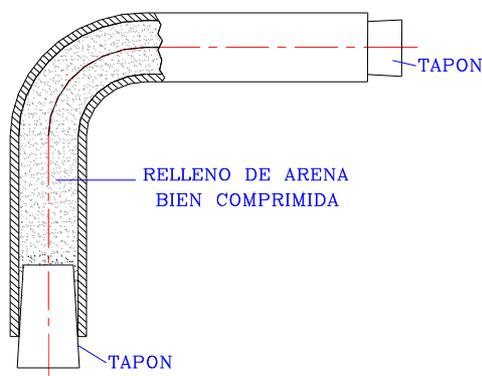


Figura N° 1.20. Llenado interior de perfiles huecos.

El llenado interior de perfiles huecos se lo puede realizar con arena de cuarzo, con una cadena de bolas o mandril, con un resorte helicoidal, para doblados en frío y caliente; o de colofonia, masilla, plomo para doblados en frío<sup>6</sup>. Esta medida de trabajo es empleada en aplicaciones de baja producción.

Al llenar los perfiles con líquidos, hay que hacerlo de un solo tirón. Antes es necesario cubrir las paredes interiores de grafito. El relleno queda elástico después de la solidificación. Después del doblado será evacuado por fundición.

### 1.11.2 El doblado de perfiles rellenos puede hacerse:

- a) a mano solamente con un zunchado (figura 1.21a), o
- b) con el uso de otros dispositivos provistos de un sistema de fijación (figura 1.21b).

La forma de doblado y el dispositivo de fijación deben adaptarse al diámetro del perfil.

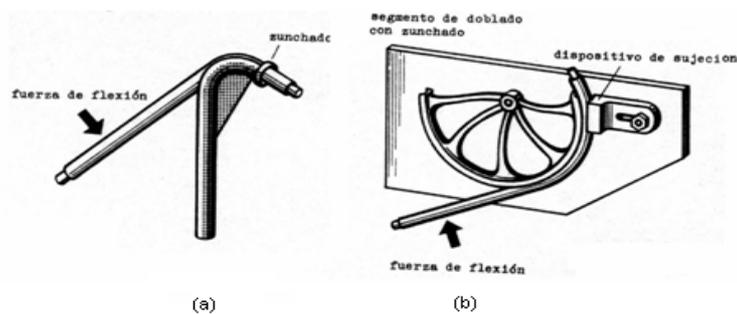


Figura Nº 1.21 Doblado de perfiles rellenos

Para el doblado de perfiles a más de los principios generales, es importante también considerar los siguientes que son propios de este tipo de conformado mecánico<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Ed. ABB, *Prácticas elementales para el trabajo de los metales doblar*. Berlín, Pág. 02 07 3 56.

<sup>7</sup> A. LEYENSETTER, *Tecnología de los oficios Metalúrgicos*. Cap. 5, pagina 298

- Los perfiles estirados o doblados pueden ser doblados en frío o en caliente. Al hacerlo en frío usando un método mecánico, como sus paredes no pueden absorber las tensiones que se producen, existe la posibilidad de que el perfil se acode o se rompa; razón por la cuál, es recomendable rellenarlo con arena, plomo o masilla para repujar (figura 1.22). Luego, se debe proceder a golpear sobre el tubo para que el relleno se compacte bien, sin dejar espacios vacíos y por último se cierra el tubo por ambos extremos con tapones lo suficientemente largos para que la arena o relleno se comprima aún más, procediendo luego a doblar.

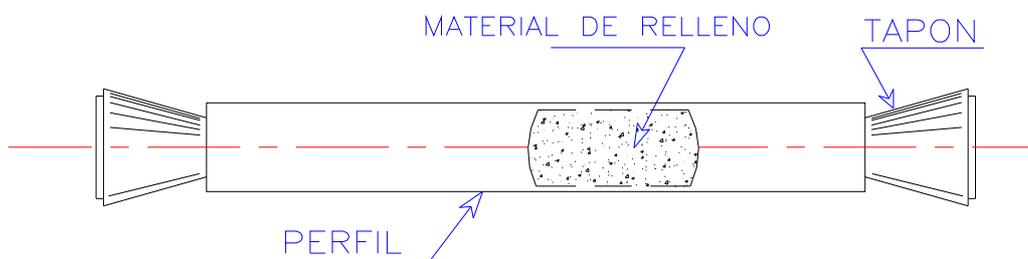


Figura N° 1.22 Rellenado y taponado previo al doblado del tubo.

- Si los perfiles han de ser curvados en caliente, habrá que cuidar que sean rellenos con arena seca para evitar que el vapor de agua expulse a los tapones de madera. El sitio de la curvatura debe ser bien calentado. En esto hay que atender que la parte interior de la curvatura se caliente más que la exterior. Con objeto de obtener un dobladura más limpia, el perfil debe ser calentado únicamente por pequeños tramos y se lo curvará de acuerdo con un trazado o una plantilla.
  - En los perfiles soldados que se vaya a doblar en frío o en caliente; la costura deberá disponerse siempre coincidiendo con la zona de
-

fibras neutras, ya que de no hacerlo así, el perfil podría fallar por dicha costura.

**1.11.3 Empleo de Mandriles:** El uso de mandriles reemplaza el relleno del perfil a doblar. Los mandriles son de tres tipos: rígidos, flexibles y articulados.

Su función es soportar la parte interior del tubo y prevenir la falla a los aplastamientos incontrolables durante el doblado. Un mandril no puede corregir una falla de doblado después que este haya empezado, así como tampoco puede eliminar los arrugamientos (figura 1.23).

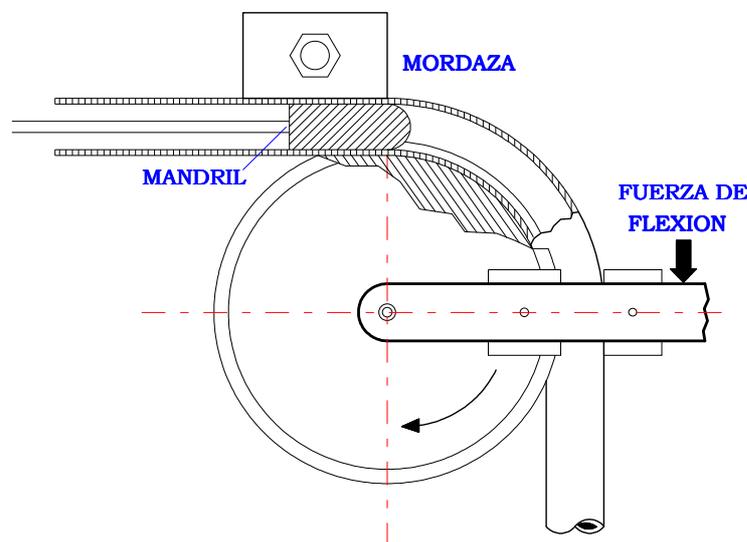


Figura N° 1.23 Uso de mandril y dispositivos en el doblado.

La holgura entre el mandril y la parte interior del perfil no debe ser mayor que el 20 % del espesor de pared. Si el juego mandril – perfil es demasiado estrecho, el perfil puede fallar durante el doblado. Esta holgura es necesaria y depende del tipo de material, del espesor de la pared, del radio del doblado y de la calidad del doblado que se requiera; para obtener los mejores resultados el mandril debe estar lo más ajustado posible.

En la figura 1.24 se muestran cinco tipos de mandriles para el doblado de perfiles. Los mandriles tipo taco y formador son rígidos, mientras que los otros tres son de tipo articulados o flexibles.

Los mandriles flexibles se doblan con el perfil, estos se constituyen generalmente de planchas o láminas y se usan cuando se necesitan pocos dobleces. Los mandriles flexibles son difíciles de introducir y de extraer del interior del tubo.

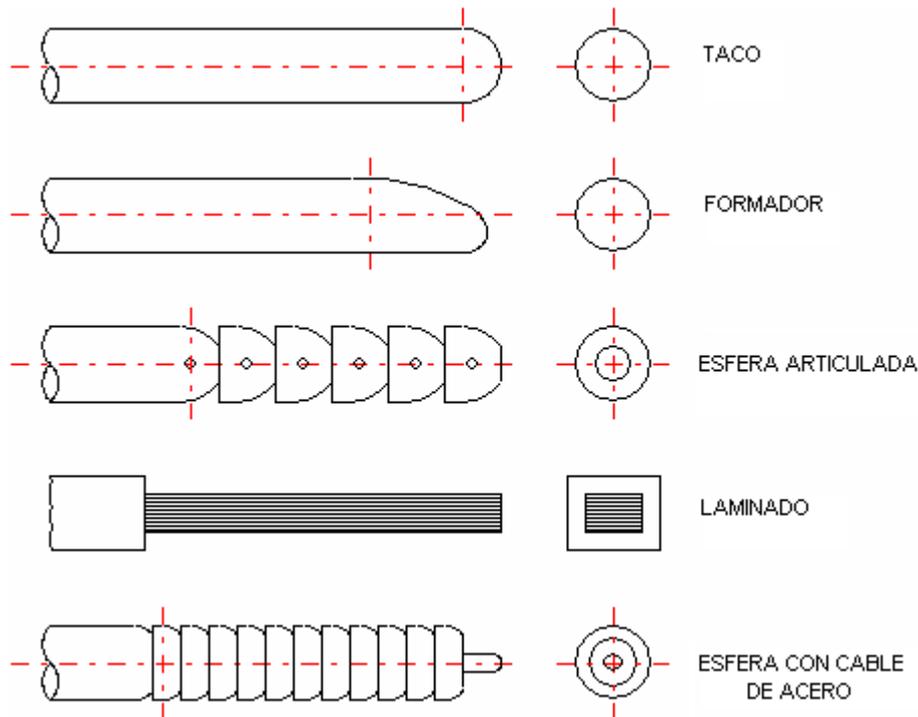


Figura N° 1.24 Mandriles

Los mandriles rígidos encajan en el interior del perfil y soportan el área interior completa, pero solo hasta el punto en el cual empieza el doblado, como sucede con los mandriles tipo taco; los mandriles de forma, soportan la parte interior del perfil un poco más allá de donde empieza el doblado, como se observa en la figura 1.25.



Figura N° 1.25 Empleo de mandriles.

Si estos mandriles rígidos se extienden demasiado en el interior del perfil, pueden producir roturas o grietas en la zona doblada. Recíprocamente, si el mandril no se extiende lo suficiente, pueden aparecer arrugas o aplastamientos en la superficie del perfil doblado.

Existen mandriles articulados, dentro de los que se incluyen los de esferas, aunque también suelen tener otras formas, pero se usan de la misma manera. Los mandriles de esferas se usan para realizar varios dobleces en un mismo perfil; durante el doblado, el mandril queda apretado por el perfil haciendo difícil su extracción, lo que hace necesario el uso de mecanismos para extraerlo, por ejemplo se puede cubrir tanto el mandril como el interior del perfil con una capa gruesa de lubricante. En perfiles de paredes delgadas o metales blandos como el aluminio, cobre, etc. el mandril es extraído del perfil de tal manera que deja puliendo la superficie interior y corrige la forma geométrica de la sección transversal.

Para tubos de geometría diferente de la circular como son los tubos cuadrados, hexagonales, etc., la utilización de los mandriles es más generalizada. La mayoría de los mandriles se construyen de acero para herramientas, con durezas de 55 a 60 Rockwell C. La vida de los mandriles puede aumentarse mediante un cromado superficial el cual puede ser renovado una vez que se haya desgastado. El cromado debe tener un espesor comprendido entre 0.03 y 0.05 pulgadas. Si los recubrimientos son muy delgados pueden descascararse.

Los mandriles pulidos por rectificado no dejan marcas en el interior del tubo y son más fáciles de extraer que los que tienen un acabado por maquinado. La necesidad de usar un mandril, depende del tipo de perfil, del radio del doblado así como también de la calidad de doblado que se desee.

En la figura 1.26 se presenta un nomograma en donde sugiere el uso de los distintos tipos de mandriles, a partir del radio de doblado, diámetro exterior, y espesor de pared del perfil.

Donde:

D = Diámetro Exterior

R = Radio de doblado

t = Espesor de pared del perfil

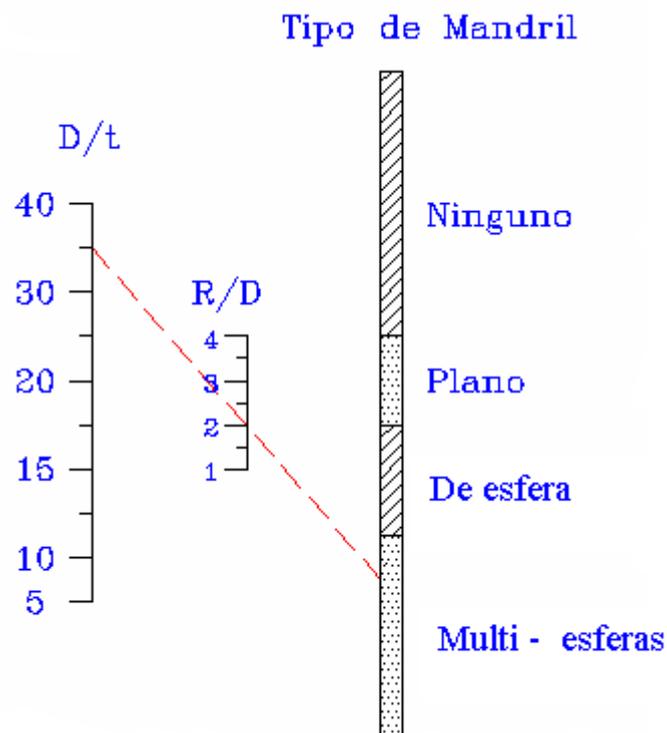


Figura N° 1.26 Nomograma para determinar el tipo de mandril

## 1.12 DOBLADO SIN USO DE MANDRILES

El doblar perfiles sin hacer uso de mandriles o rellenos, es un procedimiento rápido y económico. Previamente se suele recurrir a la experimentación, dependiendo de la máquina a utilizar, para determinar el radio de curvatura mínimo con el que se pueda efectuar el doblado sin que se produzcan en el tubo fallas o aplastamientos excesivos.

Un tubo de paredes gruesas es más apto para doblarse sin la utilización de mandriles que uno de paredes delgadas. Es mucho más fácil doblar con radios de curvatura grandes, que con radios de curvatura pequeños, por lo, que los curvados poco pronunciados son más fáciles de realizar que los doblados

profundos o radios de curvatura muy pronunciado. Cuando las tolerancias permisibles para el aplastamiento del perfil son amplias, se puede optar por doblar sin mandriles. La recuperación elástica es mayor en el doblado sin mandriles, pero se lo compensa aumentando el ángulo de doblado.

### **1.13 ANÁLISIS DE DEFORMACIONES PLÁSTICAS**

Durante el proceso de doblado, se producen grandes deformaciones plásticas, en la cual la hipótesis del mantenimiento de las secciones planas continua siendo válida, lo que significa que las deformaciones unitarias son proporcionales a su distancia al eje neutro, por consiguiente se encuentra que la hipótesis de la proporcionalidad entre tensiones y deformaciones, (ley de Hooke), ya no es aplicable, debido a que las fibras más externas del material doblado habrán transpuesto el límite de fluencia y se encontrarán en algún punto de la zona plástica del diagrama tensión-deformación. Por tanto, el momento que se debe aplicar en el doblado, está directamente relacionado con el diagrama tensión-deformación o lo que es lo mismo, con las propiedades mecánicas del material a doblar.

En la medida que no sea difícil establecer una relación matemática entre tensiones y deformaciones, debe procederse por métodos aproximados, para determinar el área bajo la curva y su centro de gravedad, que en definitiva interesa para cuantificar el momento transmitido a través de una sección, de otra manera se puede recurrir a tablas de fabricantes o catálogos de especificaciones de materiales.

Para una mejor comprensión en el estudio de la deformación plástica, es necesario recurrir al diagrama tensión-deformación para un material dúctil, esquematizado en la figura 1.27.

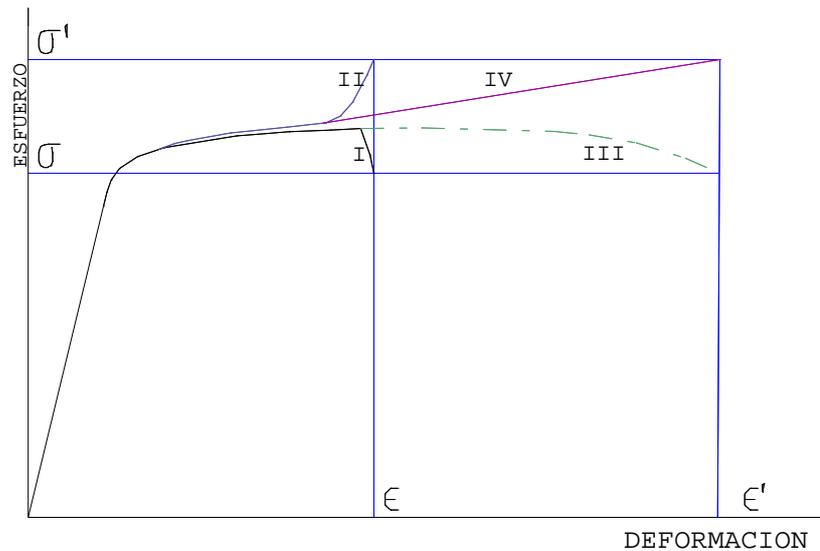


Figura N° 1.27. Diagrama tensión-deformación para un material dúctil

La curva I se obtiene considerando la sección inicial ( $A_0$ ) y la longitud inicial ( $L_0$ ) que tiene la probeta antes de ser sometida a carga, para el cálculo del esfuerzo y la deformación unitaria, en la que se desprecia la variación que experimenta la sección bajo dicha carga.

La curva I, es similar a la del diagrama carga-alargamiento, debido a que, para calcular el esfuerzo ( $\sigma$ ) a partir de la fuerza ( $P$ ), así como la deformación ( $\varepsilon$ ) a partir del alargamiento ( $L$ ), hay que utilizar únicamente como valores de referencia, la sección y longitud iniciales del tramo de medida y al ser ambas constantes, se obtiene la similitud entre las dos curvas.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo

$P$  = Fuerza aplicada a la probeta

$A$  = Sección de la probeta

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (1.3)$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación

L = Longitud final de la probeta después del doblado

L<sub>0</sub> = Longitud inicial de la probeta

### **1.13.1 ESFUERZO Y ALARGAMIENTO EN LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LOS MATERIALES**

En el cálculo del esfuerzo a base de una sección constante (A<sub>0</sub>) y de un tramo de longitud constante (L<sub>0</sub>) se producirá inevitablemente un error, por el hecho de que al aumentar progresivamente las cargas que actúan sobre el material, tanto más pequeña se vuelve la sección que absorber la fuerza, debido al efecto de estricción.

Este error puede despreciarse en el caso de los esfuerzos habituales en la mayoría de las piezas de construcción, dado a que las deformaciones que se producen suelen ser de poca importancia.

Con deformación plástica más intensa del material, para poder valorar correctamente el comportamiento del mismo, hay que emplear las correspondientes secciones y longitudes de referencia, con el fin de determinar el esfuerzo y deformación en el estado plástico.

Teniendo presente el correspondiente cambio de sección, resulta para el esfuerzo el siguiente cálculo:

$$\sigma' = \frac{P}{A} \quad (1.4)$$

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo real

P = Carga aplicada a la probeta

A = Sección real de la probeta existente sometida a esfuerzo

Donde  $A$  es la sección real existente sometida a esfuerzo por la carga  $P$ . La tensión calculada por medio de ésta fórmula, registrada en función de la deformación (a partir de la longitud inicial  $L_0$ ), da lugar a la curva II de la figura 1.29, de la que se desprende que en la región de mayor deformación, la resistencia experimenta un aumento relativamente grande, sobre todo al empezar la estricción del material. Este fuerte aumento de la resistencia se debe en parte a que además de las fuerzas normales, aparecen esfuerzos de cortadura al empezar la estricción. Mientras no se contraiga el material (antes que se produzca la estricción), la fuerza tiene sentido perpendicular a la sección (fuerza normal) y paralelo al eje de la probeta (Figura 1.28 a).

Si se produce la estricción, las líneas de fuerza, ya no son paralelas al eje de la probeta; aparecen ahora componentes de fuerza que se hallan en el plano de la sección transversal (figura 1.28 b). Estas fuerzas son las que contrarrestan la estricción y para que continúe la deformación, se necesita un decremento considerable de la sección.

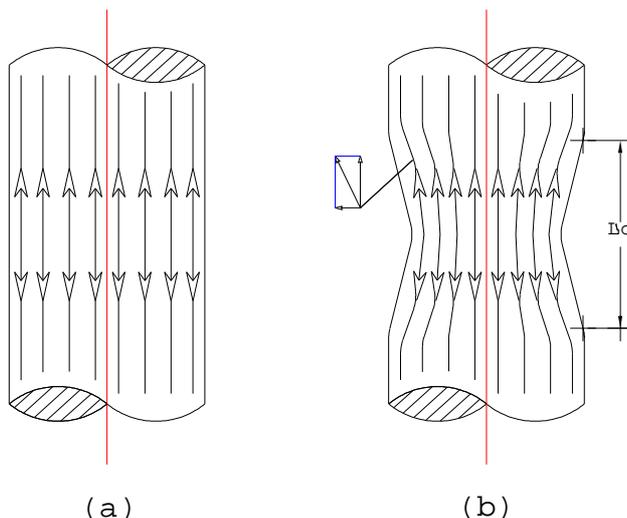


Figura N° 1.28. Orientación de las tensiones en una probeta de tracción

En el caso de una mayor deformación plástica, una vez empezada la estricción, tampoco se puede calcular el alargamiento por la ecuación (1.4) o de acuerdo, a la longitud inicial ( $L_0$ ), introducida en ella, cuando se quiere comprobar la ductilidad del material.

Siempre que la sección transversal de la probeta sometida a esfuerzo de tracción se mantenga lo más uniforme posible en toda la longitud del tramo de medida, la tensión será también uniforme en todas las secciones y por consiguiente, la deformación será la misma a lo largo de una probeta prismática o cilíndrica. Pero si ésta comienza a contraerse, la carga total que puede admitir la misma, disminuye a causa de la reducción de sección y a pesar del incremento de la tensión (área menor). Por la disminución de cargas, se descongestionan las secciones de la probeta que no han sufrido la deformación y en consecuencia, presentan menor sección y menor alargamiento. Cuando la deformación llega a ser más intensa, no se alarga más que el lugar contraído, mientras que el resto de la probeta vuelve a perder incluso algo de su alargamiento anterior; por consiguiente, a partir del comienzo de la deformación hay que basarse en una medida de longitud inicial ( $L'_0$ ) de la zona que sufre plenamente la deformación (figura 1.28.b). Con lo que se tiene la siguiente ecuación:

$$\varepsilon' = \frac{L' - L'_0}{L'_0} \quad (1.5)$$

Donde:

$\varepsilon'$  = Alargamiento real

$L'$  = Longitud final de la probeta

$L'_0$  = Longitud inicial de la probeta

Y de este valor de  $\varepsilon'$  calculado en función del esfuerzo, de acuerdo con el área inicial ( $A_0$ ), se obtiene la curva III de la figura 1.27. Si al registrar la curva, además del alargamiento real ( $\varepsilon'$ ) se tiene en cuenta el esfuerzo real ( $\sigma'$ ), se obtiene entonces la curva IV de la figura 1.27, por lo que puede reconocerse el comportamiento del material, en la región plástica.

Si cuando se somete el material a un esfuerzo determinado, se procura que la disminución de sección (estricción) tenga lugar a todo lo largo de la probeta (por ejemplo: proceso de estirado), de acuerdo con la curva IV se tiene que

alcanzar, grandes variaciones plásticas de longitud y conseguir, altas resistencias (curvas II y curva IV). Un ejemplo, son las resistencias muy altas que se consiguen por el estirado en frío de alambres.

La relación tensión-deformación real en un material dúctil, se puede representar aproximadamente mediante el diagrama de la figura 1.29.a, el cual corresponde a una idealización de la curva IV, en la figura 1.27 la que, representa el comportamiento real del material en la zona plástica.

La región elástica del diagrama, es el segmento de pendiente  $E$  ( $E =$  módulo de elasticidad). La zona plástica es también una línea recta idealizada, que empieza en el punto de fluencia y tiene una pendiente ( $C$ ). Esta pendiente es mucho menor que ( $E$ ), por lo que el aumento de tensión necesario para producir un incremento de deformación determinado, es mucho menor en la zona plástica que en la elástica, pero siempre es necesario un incremento de esfuerzos, para producir un incremento de deformación.

Un material en el que ( $C$ ) sea nulo, se llama elasto-plástico perfecto. En un material de este tipo, sobrepasado el punto de fluencia, la deformación puede seguir aumentando indefinidamente, sin aumento posterior del esfuerzo. En la figura 1.29.b se presenta el diagrama ideal de este tipo de material.

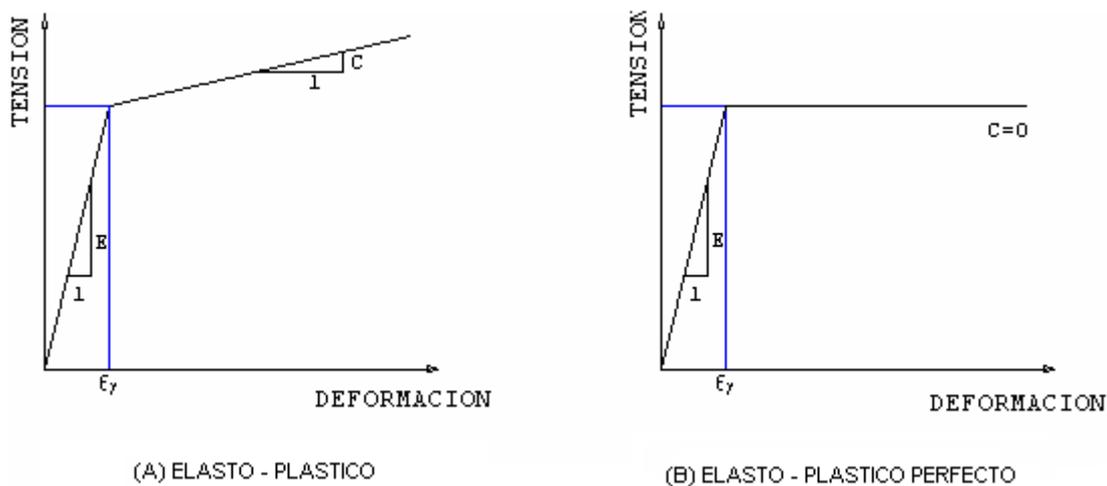


Figura 1.29 Diagramas ideales Tensión – Deformación

### **1.13.2 ESFUERZOS EN EL DOBLADO**

En el proceso de doblado se producen deformaciones plásticas, tomando como válida la hipótesis del mantenimiento de las secciones planas, esto es, las deformaciones unitarias son proporcionales a su distancia al eje neutro, no se puede mantener la hipótesis de la proporcionalidad entre tensiones y deformaciones (Ley de Hooke) debido a que las fibras externas del material en el doblado han sobrepasado el límite de fluencia.

Debemos acotar que nuestro interés es el de cuantificar el momento transmitido a través de una sección tipo cuadrado (tubo).

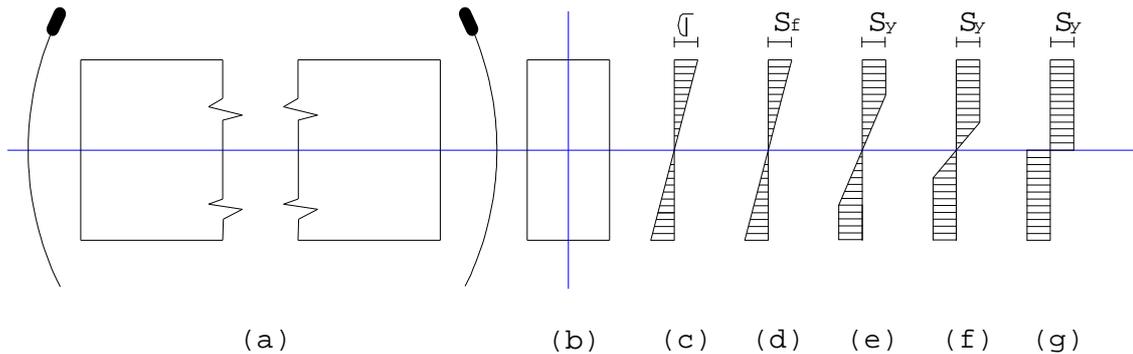
### **1.13.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS.**

El material con el que se fabrican los tubos tiene un punto de fluencia definido y sufre grandes deformaciones durante la fluencia pudiendo así idealizarse como materiales elasto-plástico perfectos (material en el cual sobrepasando el punto de cadencia, la deformación puede seguir aumentando indefinidamente sin aumento interior del esfuerzo). Además se suponen despreciables los efectos de endurecimiento por deformación.

Los resultados de los cálculos basados en esta hipótesis, difieren de los encontrados experimentalmente en menos del 10%, por lo que para fines prácticos, el estudio idealizado es enteramente utilizable.

El estudio se facilita, pues los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones en el punto donde la tensión máxima alcanza el valor de  $S_y$  (límite de fluencia). Posteriormente, todo incremento del momento aplicado, tendrá como contrapartida un incremento del esfuerzo máximo, sino una propagación de la fluencia desde afuera hacia adentro. Correspondiéndose con la propagación de la fluencia a toda la sección transversal, se tendrá un valor límite para el momento interno generado en la sección. A partir de este punto, toda deformación adicional, se consigue sin aumento del momento aplicado.

Se considera una viga de sección rectangular de material elasto-plástico perfecto sometida a flexión como se indica en la figura 1.30.a cuando los pares de flexión aplicados ( $M$ ) son pequeños, el esfuerzo máximo en el viga es menor que  $S_y$ , y la viga está en la condición de flexión elástica y su distribución lineal de esfuerzos, será como la representada en la figura 1.30.d.



**Figura 1.30. Flexión plástica de una viga**

Si ahora se aumenta el momento flexionante, de manera que el esfuerzo máximo supere el límite de fluencia, las deformaciones en los puntos extremos de la sección recta continuarán creciendo y la deformación máxima excederá a la de fluencia ( $\epsilon_y$ ).

Sin embargo, debido a la fluencia plástica, los esfuerzos máximos serán constantes e iguales a  $S_y$  (idealización de la curva tensión-deformación). Así, el estado de esfuerzos será como se presenta en la figura 1.30.e. Las regiones exteriores de la viga se han vuelto plásticas, en tanto que un núcleo central permanece elástico.

Con un aumento adicional en el momento flexionante, la región plástica se extiende aun más adentro hacia el eje neutro, hasta que se alcanza la tensión mostrada en la figura 1.30.f. En esta etapa, las deformaciones de la fibras externas, son quizá diez o quince veces mayores que la deformación de fluencia ( $\epsilon_y$ ), y el núcleo elástico casi ha desaparecido. Por tanto, para fines prácticos, la viga ha alcanzado su capacidad última de resistencia a los

momentos y se puede idealizar la distribución última de esfuerzo conformada por dos partes rectangulares (figura 1.30.g). El momento flexionante que corresponde a esta distribución idealizada de esfuerzos, se llama momento plástico o límite ( $M_L$ ) y es el momento máximo que puede resistir una viga hecha de material elasto-plástico.

#### **1.14 CÁLCULO DEL MOMENTO PLÁSTICO**

Para el cálculo del momento plástico de doblado se requiere hacer el siguiente análisis:

De acuerdo a la geometría de la sección se determina su distribución elástica (Figura 1.31) en donde el momento flexionante ha generado un esfuerzo máximo igual al límite de fluencia ( $S_y$ ). Con ello se realiza una idealización de la distribución última de esfuerzos en la que el momento aplicado ha alcanzado el valor del momento plástico.

Es importante determinar el momento plástico de doblado, el cual, como se observa en el diagrama depende de la geometría de la sección transversal. El cálculo inicial parte de localizar el eje neutro de la sección; sobre este eje todo elemento de la sección tiene un esfuerzo de Tracción igual al límite de fluencia ( $S_y$ ) y, bajo este eje, la otra parte de la sección estará bajo esfuerzo de compresión y también igual al límite de fluencia ( $S_y$ ).

De los innumerables parámetros que presentan las propiedades mecánicas de los materiales, el límite de fluencia es el que más interesa para el cálculo de la fuerza de doblado. Que en este caso depende del material que se utilice para el proceso de doblado, en este caso se utilizará el ( $S_y = 2400\text{kg/cm}^2$ ) para los tubos cuadrados de Acero. Anexo (II)

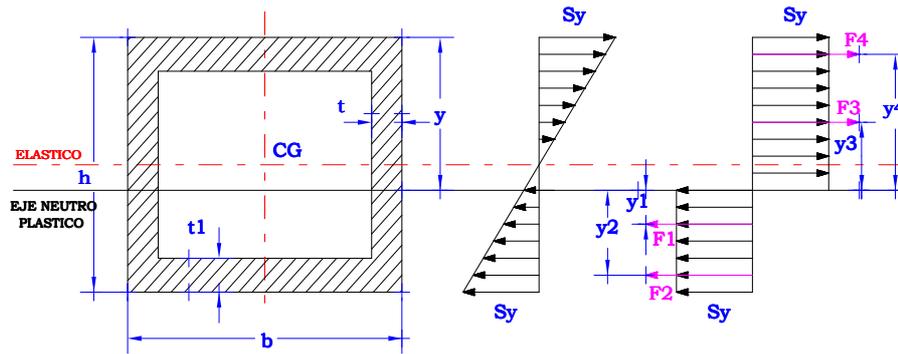


Figura 1.31 Distribución de esfuerzos sobre una sección rectangular

La fuerza total de tracción ( $T$ ) es igual a  $Sy \cdot A_T$ , donde  $A_T$  es el área de la sección transversal sobre el eje neutro; de la misma manera, la fuerza total de compresión ( $C$ ) es igual a  $Sy \cdot A_C$ , donde  $A_C$  es el área de la sección transversal bajo el eje neutro.

Aplicando el equilibrio estático se tiene (ver figura 1.31 Distribución de Esfuerzos de una sección rectangular):

$$\sum F_{horizontal} = 0$$

$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4 \quad (1.6)$$

Donde  $F_1, F_2$ , son fuerzas de compresión

$F_3, F_4$ , son fuerzas de tracción

Además

$$F_1 = Sy \cdot 2 \cdot t \cdot \left( \frac{h - 2 \cdot t_1}{2} \right)$$

$$F_2 = Sy \cdot t_1 \cdot b$$

(1.7, 1.8, 1.9, 1.10)

$$F_3 = Sy \cdot 2 \cdot t \cdot \left( \frac{h - 2 \cdot t_1}{2} \right)$$

$$F_4 = Sy \cdot t_1 \cdot b$$

Donde  $t$  = espesor del área de la sección transversal sobre el eje neutro

$h$  = altura

$t_1$  = espesor del área de la sección transversal bajo el eje neutro

Reemplazando en la ecuación (1.11) y resolviendo:

$$y = \frac{h}{2}$$

Con lo que se comprueba que en este caso que el eje neutro elástico coincide con el eje neutro plástico.

Conocido la ubicación del eje neutro plástico para la sección, se calcula su momento límite<sup>8</sup>:

$$M_L = F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + F_4 \cdot y_4 \quad (1.11)$$

reemplazando en la ecuación(1.11) nos queda:

$$M_L = \frac{1}{2} \cdot S_y \cdot t \cdot (h - 2 \cdot t_1)^2 + S_y \cdot t_1 \cdot b \cdot (h - t_1) \quad (1.12)$$

simplificando tenemos:

$$M_L = S_y \cdot \left[ \frac{t}{2} \cdot (h - 2 \cdot t_1)^2 + t_1 \cdot b \cdot (h - t_1) \right]$$

la ecuación puede ser separada en dos partes:

$S_y$  = Límite de fluencia del material, y

$$\left[ \frac{t}{2} \cdot (h - 2 \cdot t_1)^2 + t_1 \cdot b \cdot (h - t_1) \right] = \text{Módulo plástico de de la sección (Z)}$$

por lo que se puede concluir que:

$$M_L = S_y \cdot Z \quad (1.13)$$

Donde:

$M_L$  = Momento limite

$S_y$  = Limite de fluencia del material

$Z$  = Modulo plástico de la sección

Para el caso de un tubo cuadrado.

$$Z = \frac{H^4 - h^4}{6.H} \quad (1.14)$$

Para el caso de un tubo circular,

$e$  = espesor del tubo, y

$D_m$  = diámetro medio, que está dado por:

$$D_m = \frac{D + d}{2}$$

---

<sup>8</sup> STIOPIN P. A, (1979), *Resistencia de Materiales*. Editorial MIR.

Donde:

$D$  = diámetro exterior

$d$  = diámetro interior

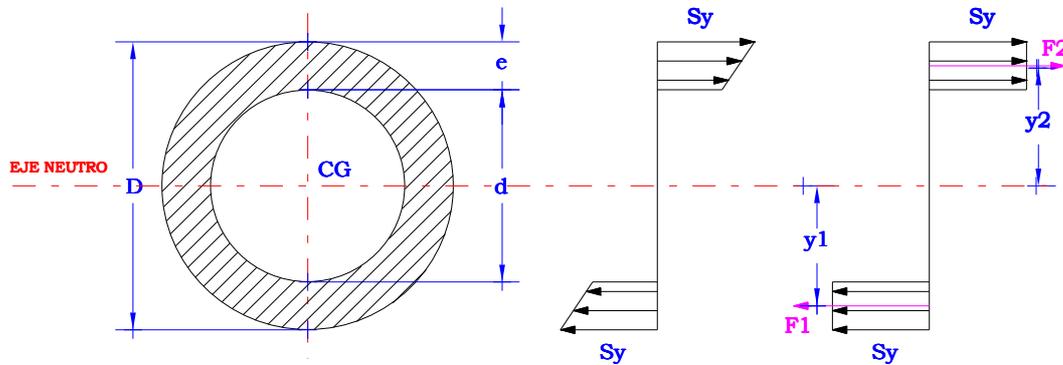


Figura 1.32 Distribución de esfuerzos sobre una sección circular.

El valor del momento límite será:

$$M_L = S_y \cdot e \cdot Dm^2 \quad (1.15)$$

Donde:

$M_L$  = Momento límite

$S_y$  = Límite de fluencia del material

$Dm^2$  = diámetro medio

$E$  = espesor del material

### 1.15 MOMENTO FLECTOR<sup>9</sup>

El encorvamiento de una varilla depende del producto de la fuerza que actúa, y de la distancia del apoyo, es decir del momento de la fuerza, que en este caso llamase momento flector ( $M_f$ ) y es:

$$M_f = FxL$$

(1.16)

<sup>9</sup> Ed. DON BOSCO, *Fundamentos Técnicos de Mecánica*.

Donde:

$M_f$  = Momento flector.

$F$  = Fuerza.

$L$  = Distancia del apoyo.

### 1.16 CALCULO DE PARÁMETROS PARA EL TUBO CUADRADO<sup>10</sup>

Para el cálculo de los parámetros de la tubería cuadrada se requiere seguir el siguiente análisis de acuerdo a la sección del material. (Anexo II)

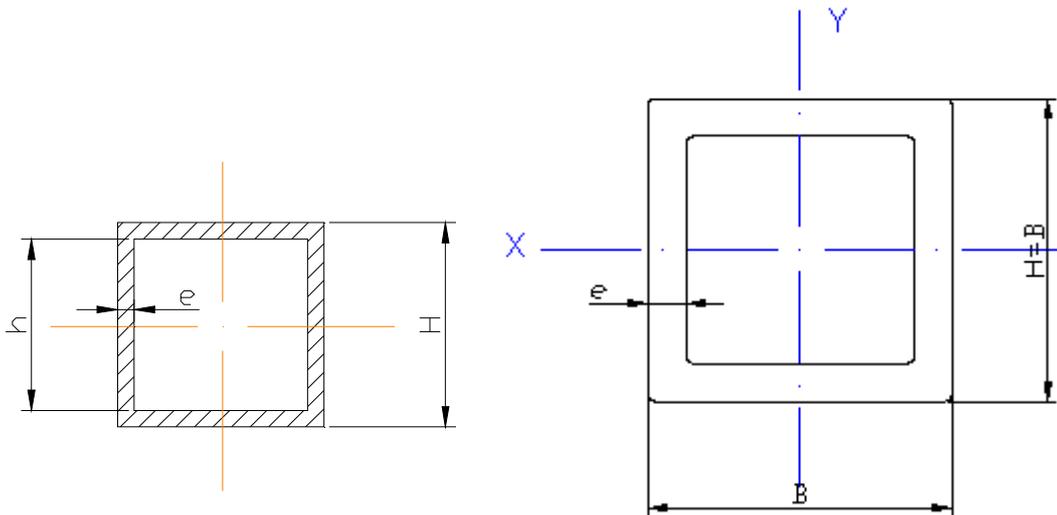


Figura 1.33 Tubo cuadrado

#### 1.16.1 TUBO CUADRADO

$I_x = I_y$

$I_x$  = Momento de inercia con respecto al eje x

$I_y$  = Momento de inercia con respecto al eje y

**Área**

$$A = H^4 - h^2 \quad (1.17)$$

Donde:

$A$  = Área del tubo cuadrado  $\text{cm}^2$

$H$  = Altura externa del tubo cuadrado

$h$  = Altura interna del tubo cuadrado

<sup>10</sup> CONDUIT DEL ECUADOR S. A, (2004), *Catálogo general de Tubería*.

### 1.16.2 MOMENTO DE INERCIA DE LA SECCIÓN

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12} \quad (1.18)$$

Donde:

I = Inercia de la sección cuadrada  
 H = Altura externa del tubo cuadrado  
 h = Altura interna del tubo cuadrado

### 1.16.3 DISTANCIA DE LA FIBRA NEUTRA A LA FIBRA MÁS ALEJADA DE LA SECCIÓN

$$C = \frac{B}{2} \quad (1.19)$$

Donde:

C = Distancia entre el eje neutro  
 B = H Altura del tubo cuadrado

### 1.16.4 MÓDULO DE SECCIÓN

$$Z = \frac{I}{C} \quad (1.20)$$

Donde:

Z = Modulo de sección  $\text{cm}^3$   
 I = Momento de inercia de la sección  $\text{cm}^4$   
 C = Distancia entre el eje neutro cm.

**1.16.5 Radio de giro (R)**, este depende de la forma de la sección y no del material.

$$R = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (1.21)$$

Donde:

R = radio de giro de la sección cm

I = Momento de inercia de la sección cm<sup>4</sup>

A = Área de la sección transversal del tubo cm<sup>2</sup>

### 1.16.6 MÓDULO DE RESISTENCIA DEL TUBO CUADRADO

$$W_f = \frac{H^4 - h^4}{6 \cdot H} \quad (1.22)$$

Donde:

W<sub>F</sub> = Módulo de resistencia

H = altura exterior del tubo cuadrado

h = altura interior del tubo cuadrado.

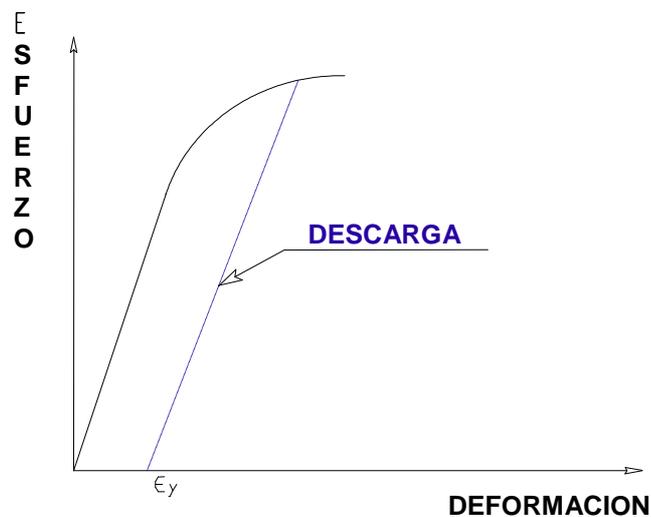
### 1.17 RECUPERACIÓN ELÁSTICA EN EL DOBLADO.

Un fenómeno importante que se debe tomar en cuenta en el doblado es la recuperación elástica del material. Consiste en que el material doblado o curvado tiende por elasticidad a recuperar su forma primitiva y el ángulo de doblado o la curvatura con que queda después de la operación es menor que la que tiene la estampa, además de que hay un pequeño aumento del radio de giro. Por ello, en operaciones de precisión, es necesario dar un ángulo o curvatura más cerrada de la necesaria como para que después de la recuperación elástica la pieza quede de la forma deseada.

Esta recuperación elástica es tanto mayor mientras más elevado es el límite elástico y la curvatura de fluencia del metal y menor mientras más pequeño es el módulo elástico y mayor la deformación plástica. A causa de la recuperación elástica resulta que, a veces, el material queda fuertemente adherido a la matriz, por lo que es necesario un expulsor. Por contrario si por su forma el

material ha quedado en el dado después de la operación, la recuperación elástica hará que quede suelto.

Los experimentos realizados con materiales dúctiles, indican que cargados más allá de la fluencia, independientemente del esfuerzo máximo al que se haya llegado, la descarga siempre se realiza siguiendo una trayectoria paralela al tramo recto de la curva, tal como se indica en la figura 1.34, la descarga siempre se realiza cumpliendo la ley de Hooke.



(A) ELASTO - PLASTICO

**Figura N° 1.34 Curva deformación – esfuerzo mostrando la línea de descarga**

Para determinar la geometría final de una pieza doblada plásticamente, haciendo uso del principio de superposición de los efectos, partiendo de que el equilibrio final se da por la suma de un momento aplicado a la carga, más otro momento igual y de signo contrario aplicado a la descarga. Considerando el caso de fluencia total, debido a que en el proceso de doblado se trabaja en la zona plástica, entonces al momento límite ( $M_L$ ), hay que añadirle el de la descarga.

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

#### **2.1. REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA PROTOTIPO DE DOBLADO DE TUBOS CUADRADOS.**

Para la construcción de la máquina prototipo de doblado de tubos cuadrados es importante la determinación de los parámetros, requerimientos y especificaciones de la máquina a construir según la necesidad, el mismo que basándose en el objetivo primordial del diseñador, es crear mecanismos más efectivos al menor costo, para la cual se debe buscar en lo posible la simplicidad.

Los parámetros y especificaciones, están dados por condiciones establecidas como: requerimientos exigidos por el fabricante, por restricciones geométricas y de espacio, por calidad y tipo de material a utilizar, por el peso del dispositivo, etc.

Por tal motivo, se hace necesario que al construir esta dobladora de tubos, se deba observar y discutir los diversos parámetros involucrados en el doblado con personas conocedoras del proceso.

El análisis de las distintas alternativas, permitirá determinar cuales son los parámetros más importantes para un mejor funcionamiento operativo de la máquina, mediante la selección de la mejor alternativa, la misma que debe ser adaptada fácilmente a las diferentes disposiciones de montaje y operación consignadas al sistema manual.

## **2.2 REQUERIMIENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.**

La dobladora de tubos cuadrados es una máquina en la cual se pueden realizar dobleces de tubos, los cuales son necesarios para la elaboración de piezas y partes de máquinas de tubos doblados.

En base a la información bibliográfica y el estudio teórico expuesto en el capítulo anterior se puede señalar que los requerimientos para el doblado son:

Capacidad del ángulo de doblado

Capacidad del radio de giro

Dimensiones de tubos a utilizar

Espesor

Material del tubo

La dobladora de tubos cuadrados a construir es una máquina cuyo principio de accionamiento es manual, esta fuerza manual deberá conseguir el accionamiento de los diferentes mecanismos, para ejecutar la operación de doblado; para los fines de este proyecto, se construirá la maquina dobladora de tubos y los dispositivos para doblar tubo cuadrado de Acero SAE 1018 de 20mm y 25.4 mm de 1 a 2 mm de espesor.

## **2.3 REQUERIMIENTOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS A UTILIZAR**

En la industria nacional las empresas dedicadas a la fabricación de tubería y perfilería en acero en el país son: La Industria Procesadora de Aceros S.A. "IPAC", "Conduit del Ecuador", La Industria de Aceros del Cotopaxi "ACEROPAXI" y La Industria El Acero "SOINMETAL". Existen empresas que se encargan de comercializar y distribuir estos productos tanto de fabricación nacional como importada, entre las más importantes están: COMPAC, DIPAC, CIMPAC, ACERO COMECIAL, ACERCONS, etc.

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

**ASTM** (American Society for Testing Materials),

**ISO** (International Standards Organization),

**ANSI** (American National Standard Institute),

**PFI** (Pipe Fabrication Institute),

**JIS** (Japanese International Standard).

Por catálogos de productos, se sabe que en el mercado nacional se puede encontrar los siguientes tubos y perfiles de Acero: tubos mecánicos, tubos estructurales, cañerías, tubos eléctricos, perfiles.

**2.3.1 Tubos mecánicos:** los tubos mecánicos son utilizados para la fabricación de muebles metálicos, pasamanos, remolques, etc. Cuyas dimensiones y especificaciones indica la tabla 2.1.

TIPOS	DIMENSIONES	ESPECIFICACIONES
REDONDO CUADRADO RECTANGULAR	Largo normal: 6m. De 12.70 a 57.15 mm. De 12.7 a 50.8 mm. De 9.53 * 19.05 a 31.75 * 50.8mm.	Terminación: Extremos de máquina Calidades normales: SAE 1010 Norma de fabricación: JIS G3445

Tabla 2.1. Clasificación de los tubos mecánicos.

**2.3.2 Tubos estructurales:** los tubos estructurales son empleados en la fabricación de carrocerías, estructuras para letreros, estructuras metálicas en general, etc. Cuyas dimensiones y especificaciones se indica en la tabla 2.2.

TIPOS	DIMENSIONES	ESPECIFICACIONES
REDONDO CUADRADO RECTANGULAR TUBO PARA POSTES	Largo normal: 6m. De 19.05 a 76.2 mm. De 19.05 a 60.33mm. De 20*40 a 40 *80 mm De 31.75 a 63.5 mm.	Recubrimiento: Negro o galvanizado Terminación: Extremos de máquina Calidades normales: JIS G 3132, SPHT2, SPHT1 Norma de fabricación: ASTM A500, JIS G 3444.

Tabla 2.2. Clasificación de los tubos estructurales.

**2.3.3 Cañerías:** estos materiales son empleados en instalaciones industriales, conducción de vapores, conducción de fluidos a alta presión, etc. Cuyas dimensiones y especificaciones se indican en la tabla 2.3.

TIPOS	DIMENSIONES	ESPECIFICACIONES
SERIE LIVIANA I SERIE LIVIANA II A 53 CEDULA 40 A 120 CEDULA 40	Largo normal: 6m. De 12.7 a 63.5 mm. De 9.53 a 63.5 mm. De 9.53 a 50.8 mm. De 9.53 a 50.8 mm.	Recubrimiento: Negro o galvanizado Terminación: Extremos de lisos, biselados o roscados Rosgado de cañerías: Hilo NPT (ANSI/ASME B 1.20.1). Calidades normales: SAE 1010, JIS 3132, SPHT1 Norma de fabricación: Normas ISO R65 y ASTM

Tabla 2.3 Clasificación de las cañerías

**2.3.4 Tubos eléctricos:** los tubos eléctricos se emplean en instalaciones eléctricas en lozas de edificios, alarmas, etc. Cuyas dimensiones y especificaciones se indican en la tabla 2.4.

TIPOS	DIMENSIONES	ESPECIFICACIONES
RIGIDO SIN REBABA INTERIOR	De 12.7 a 50.8 mm.	Largo normal: 3m. Recubrimiento: Negro o galvanizado Extremos: Roscados, hilo NPT Calidades normales: SAE 1010, JIS 3132 SPHT1 Norma de fabricación: ASA C-80.1
LIVIANO EMT	De 12.7 a 50.8 mm.	Largo normal: 3m. Recubrimiento: Galvanizado Extremos: Lisos Calidad normal: Acero galvanizado JIS G 3302, ASTM 528 Norma de fabricación: ASA C-80.3

**Tabla 2.4. Clasificación de los tubos eléctricos.**

**2.3.5 Perfiles:** los perfiles son empleados en la conformación de elementos estructurales, columnas, estructura para cubiertas, etc. Cuyas dimensiones y especificaciones se indican en la tabla 2.5.

TIPOS	ESPECIFICACIONES
CANALES CORREAS ANGULOS OMEGAS	Largo normal: 6m. Recubrimiento: Negros o galvanizados. Calidades normales: A-36, ASTM-570, JIS G-3101

**Tabla 2.5. Clasificación de los perfiles.**

El proyecto en cuanto a su construcción, centra su operación en los tubos mecánicos de sección cuadrada. Esta familia de perfiles está constituida por Rectangulares, Cuadrados y Tubos Redondos.

### 2.3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES TUBULARES

Los perfiles tubulares son conformados en frío, soldados eléctricamente por alta frecuencia, formando tubulares de sección circular, cuadrada y rectangular, los que se pueden clasificar en dos tipos: para uso general y para uso estructural.

#### 2.3.6.1 Para uso General

Estos perfiles son fabricados con acero SAE 1006/1010, el cual asegura un rango de composición química mínimo y máximo, dando como resultado una excelente soldabilidad y doblabilidad en caso de requerirse. Para nuestro caso se utilizará material tubular de acero SAE 1010.

#### 2.3.6.2 Para uso Estructural

Para la fabricación de estos perfiles, debido a la función estructural que van a cumplir, se utiliza acero estructural soldable (A42-27ES, A37-24ES), el cual garantiza cifras mecánicas para la resistencia a la tracción, límite de fluencia, y alargamiento, además de valores de composición química máximos, lo cual da como resultado una excelente soldabilidad y doblabilidad en caso de ser necesarios. La geometría de estos materiales tubulares son: redondos, cuadrados, rectangulares y se indican a continuación (Fig. 2.1).

- **Tubos Redondos**



Figura N° 2.1 Tubo Redondo.

- **Tubos Cuadrados**

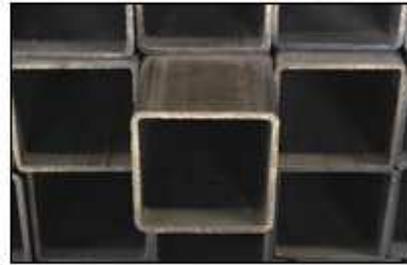
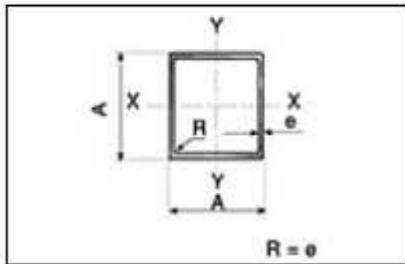


Figura N° 2.2 Tubo Cuadrado

- **Tubos Rectangulares**

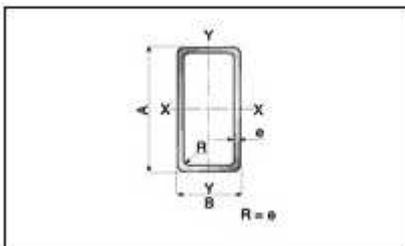


Figura N° 2.3 Tubo Rectangular

### 2.3.6.3 USOS PRINCIPALES

La familia de perfiles tubulares es utilizada preferentemente para la construcción de diversas estructuras como las que se muestra en la tabla 2.6.

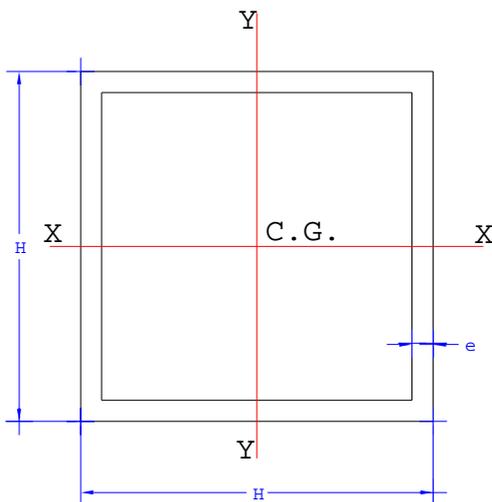
Cuadrados y Rectángulos	Tubos Redondos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muebles.</li> <li>• Rejas y protecciones.</li> <li>• Estructuras.</li> <li>• Piezas y partes automotrices.</li> <li>• Balsas salmoneras.</li> <li>• Postes.</li> <li>• Señalética vial.</li> <li>• Barandas.</li> <li>• Pasaleras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Señalética vial.</li> <li>• Muebles.</li> <li>• Bicicletas.</li> <li>• Estructuras.</li> <li>• Piezas y partes automotrices.</li> <li>• Andamios.</li> <li>• Balsas salmoneras.</li> </ul>

Tabla 2.6 Estructuras de Doblado.

## 2.4 PRECISIÓN PARA EL DOBLADO DE TUBOS CUADRADOS

En la tabla 2.7<sup>11</sup>, se definen los distintos tipos de tubos, que se utiliza para la elaboración de diferentes productos, los mismos que especifican los requerimientos de construcción de la máquina.

Se definen el radio de curvatura y ángulo de giro según catálogos de Mittler Bros y Hossefeld MFG.CO., y tiene por objeto tener una mejor precisión en el doblado y evitar los problemas.



DESIG	DIMENSION		R <sub>C</sub>		ANG
	H	e	Pulg	mm	
Pulg.	mm	mm	Pulg	mm	°
3/4	20	0.75	3 6	150	0-180
		0.95			
		1.1			
		1.5			
1	25	0.75	4 6	100 150	0-180
		0.95			
		1.1			
		1.5			
1 1/4	30	0.95	6	150	0-90
		1.1			
		1.5			

Figura N° 2.4 Tubo Cuadrado

Tabla 2.7 Dimensiones tubo cuadrado

La precisión del doblado es una restricción de construcción, ya que se pone de manifiesto la actuación de la máquina frente a los problemas que presenta la operación de doblado con los diferentes tipos de tubos a doblar.

R<sub>C</sub> = Radio de curvatura.

R<sub>C</sub> = 3 a 4 veces el diámetro del tubo a ser doblado.

<sup>11</sup>IPAC, (1996), *Catálogo general de Productos*.

Otro factor para que el doblado sea exacto, en especial en tubos rectangulares y cuadrados, es que el material siempre debe estar solidario con las herramientas de la máquina, para que no se presenten los problemas de doblado como arrugamiento, pliegues, agrietamiento, etc. en las caras del tubo a doblar.

Antes de construir el prototipo se realizó una investigación que consistió en realizar pruebas de doblado, con una máquina de doblado manual por compresión, para tubo cuadrado de 25mm con radio de giro de 58.6 mm.

Se procedió primeramente a doblar el tubo a  $90^\circ$  si ningún relleno, observando que se producen fallas en las paredes laterales del tubo a doblar, hundimiento en la pared sometida a tracción y arrugamientos, pliegues y aplastamientos en la pared sometida a compresión como se indica en la figura 2.5a. Luego para solucionar estos problemas, y para lograr una mejor precisión en el doblado, se procedió a rellenar el tubo con arena bien comprimida y compactada con tapones en sus extremos, dando como resultado un doblado más exacto especialmente en la pared externa sometida a tracción y, en la pared sometida a compresión pequeñas y mínimas fallas, como se muestra en la figura 2.5b.

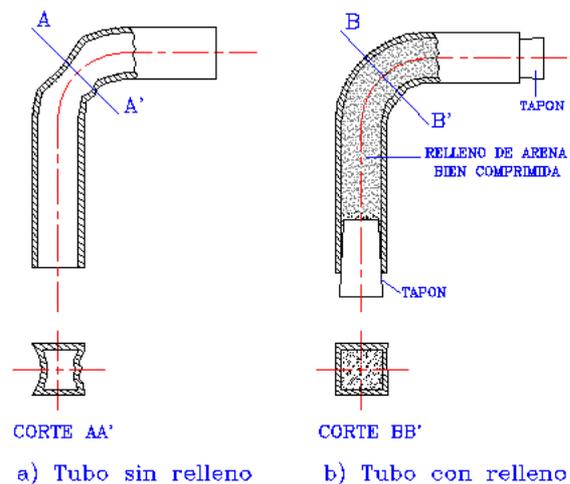


Figura Nº 2.5 Pruebas de doblado realizadas en tubo cuadrado

Como complemento, se fabricó una matriz la cual permitiera presionar el área de giro de dobles, obteniendo una matriz con una ceja o ranura para obtener un

doblez mucho más exacto sin tener que rellenar el tubo con arena, con esta matriz no se produjo arrugamiento o pliegues en el tubo 2.6 (a). El resultado obtenido fue un doblez casi perfecto, con pequeños hundimientos en sus paredes laterales casi imperceptibles como se muestra en la figura 2.6 (b).

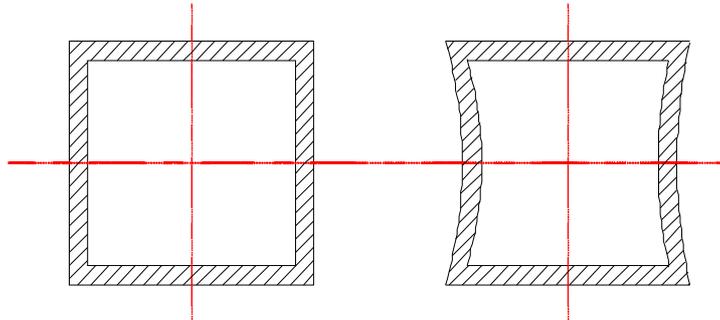


Figura N° 2.6 Tubo cuadrado antes y después del doblado

## 2.5 REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA.

Está dobladora de accionamiento manual debe ser capaz de realizar varias tareas como:

- El sistema de accionamiento manual debe ser lo suficientemente capaz de amplificar la fuerza inicial para producir el doblez requerido y mover los mecanismos y herramientas de doblado.
- La máquina debe ser capaz de doblar los tubos cuadrados de 25.4 mm y 20mm de 1 a 2 mm de espesor, para doblar al radio al cual está fabricada la matriz, mediante el cambio de la matriz que le corresponda a cada tubo.
- Los mecanismos y herramientas de doblado deben facilitar el montaje y desmontaje de la máquina, para su transporte e instalación, además de

permitir una fácil regulación de los radios y ángulos de doblado para los dos tubos cuadrados que se desee doblar, realizando este procedimiento lo más sencillo.

- La dobladora deberá producir un producto terminado sin deformaciones, aplastamientos, pliegues o rupturas, permitiendo un hundimiento considerable en las superficies del tubo sometidas al proceso de doblado, con o sin el uso de relleno de arena.

## **2.6 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS**

Una vez conocidos los requerimientos para la construcción de la máquina prototipo de doblado de tubos cuadrados, así como especificados los dos tipos de tubos a doblar, y que la máquina debe ser de accionamiento manual, se analizarán las alternativas propuestas considerando los diferentes métodos de doblado, que permita efectuar la operación de doblado. Las diversas alternativas que se presentan en este capítulo se analizarán de acuerdo a criterios de diseño sobre factores funcionales, factores constructivos y factores económicos.

Las variantes que se presentan entre uno y otro sistema, aumentan o disminuyen la movilidad y maniobrabilidad de la máquina, por lo que es necesario realizar un análisis de los diferentes tipos de dobladoras, para saber cual de ellas presenta las mejores ventajas para determinar cual es la más eficiente para el servicio que va a prestar la misma. Los tipos de máquinas disponibles, según el método de doblar son: dobladora manual por estiramiento, por compresión, de rodillos, a tracción y hidráulica.

De las máquinas señaladas para el doblado de tubos, considerando que el accionamiento debe ser manual, las dobladoras de rodillos y a tracción no son consideradas entre las alternativas, debido a que, en estas máquinas el accionamiento principal es hidráulico, neumático o en su mayoría eléctrico.

### 2.6.1 DOBLADORA MANUAL POR ESTIRAMIENTO

Esta dobladora emplea el método de doblado por estiramiento o escurrido. Una dobladora de este tipo, está representada en la figura 2.7. La máquina se encuentra montada sobre una base, la que va sujeta a un banco. Sobre esta base se ubica a la matriz giratoria.

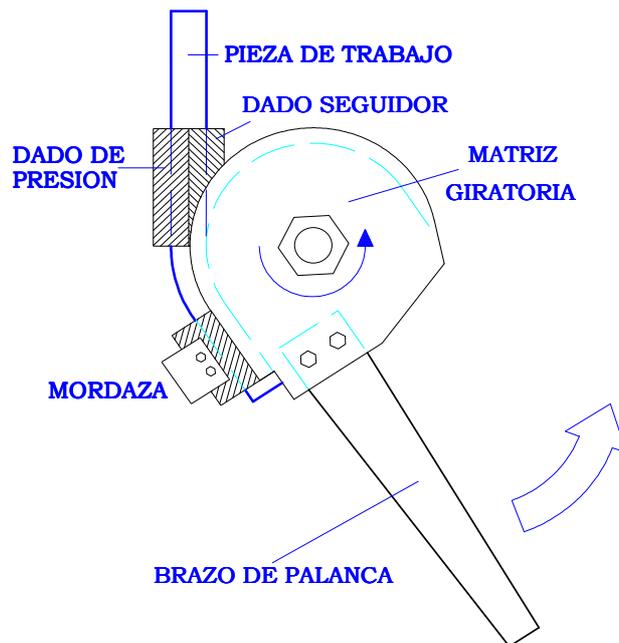


Figura 2.7. Dobladora Manual por estiramiento.

El radio de curvatura y el ángulo están dados por la matriz a emplear, su característica geométrica es de una semicircunferencia. Al extremo de la matriz giratoria se acopla la mordaza, la cual sujeta a presión el tubo a doblar.

La máquina también posee un dado de presión, adjunto a la base, el cual sirve como guía y apoyo al tubo a doblar, solidario y paralelo a éste existe un dado seguidor que debe permanecer fijo durante la operación de doblado. Los dispositivos, tienen en su interior la forma del tubo a doblar. Como último aditamento se tiene el brazo de palanca, que es el encargado de transmitir la fuerza necesaria para producir el momento o par torsor requerido para doblar el tubo.

**Ventajas:**

Control de flujo de material.  
Doblado uniforme sobre la matriz.  
Se puede controlar la recuperación elástica.  
Control preciso del ángulo de doblado.  
Aplastamiento de la pared del tubo mínimo.  
Facilidad de maniobrar.

**Desventajas:**

Restringido a tubos de pared delgada.  
Bajo rendimiento en producción continua.  
Radio de curvatura de acuerdo a la matriz.  
La vida útil de la matriz y abrazadera, reducida por la fricción.

**2.6.2 DOBLADORA MANUAL POR COMPRESIÓN.**

El método empleado por esta dobladora mediante compresión o contorneado.

La representación de esta dobladora se observa en la figura 2.8. La máquina se encuentra montada sobre una base, la que va sujeta a un soporte principal. Sobre la base se sitúa la matriz fija, la cual está sujeta por medio de un pasador.

El radio de curvatura está dado de acuerdo a la matriz fija utilizada. En el bastidor se ubica la abrazadera o mordaza, acoplada mediante un pasador, la que permite la sujeción del tubo a doblarse.

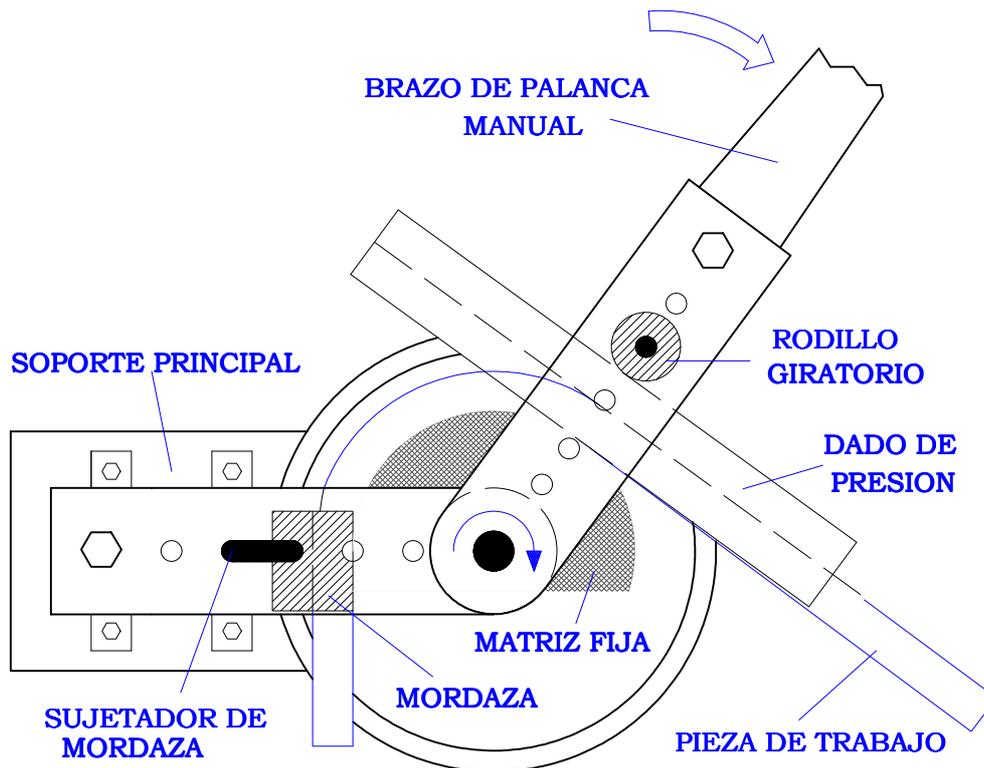


Figura 2.8. Dobladora manual a compresión.

Posee una guía, que actúa como dado de presión y va insertada entre el tubo y el rodillo giratorio; el avance y la fijación son controlados por el rodillo, el mismo que está sujeto mediante un pasador regulable, que se coloca de acuerdo a la matriz en las regulaciones existentes en el bastidor, de modo que ejerza presión sobre el dado deslizante. Estos dos últimos dispositivos actúan conjuntamente con el brazo de palanca al aplicar la fuerza, que pivota sobre el pasador principal de la máquina (eje de flexión).

Una variante de esta máquina es reemplazar la zapata deslizante, por un rodillo giratorio que entre en contacto directo con la superficie exterior del tubo a doblar y este debe ser solidario a la matriz. Se puede adaptar un trinquete a la matriz fija, y así poder controlar la recuperación elástica de mejor manera, teniendo un doblado con menor esfuerzo.

**Ventajas:**

Doblado uniforme.  
Control de flujo de material.  
Mejor control de la recuperación elástica.  
Exactitud en la obtención del ángulo de doblado.  
Mínimo aplastamiento del tubo.  
Fácil montaje y desmontaje de dispositivos.  
Fuerzas de rozamiento poco influyentes.

**Desventajas:**

Desgaste de los elementos en operación continua.  
El radio de giro o radio de curvatura está restringido al tamaño de la matriz.  
Bajo rendimiento en operación continúa.

**2.6.3 DOBLADORA HIDRÁULICA.**

Este tipo de dobladora está clasificada dentro de las dobladoras a presión, las cuales son máquinas para doblar barras y tubos. Estas máquinas pueden detenerse en cualquier punto de la carrera, pueden ser impulsadas manualmente o por medio de una bomba hidráulica cuando se requiera producción en serie.

El radio de curvatura dependerá de la matriz a utilizar, y el ángulo de giro será de a cuerdo a la distancia recorrida por el émbolo del pistón.

Una dobladora de éste tipo está representada en la figura 2.9. La máquina puede estar directamente sobre el piso, lo que presenta dificultad en su manejo, por lo que normalmente se provee de un soporte, lo que permite mayor facilidad por el doblado.

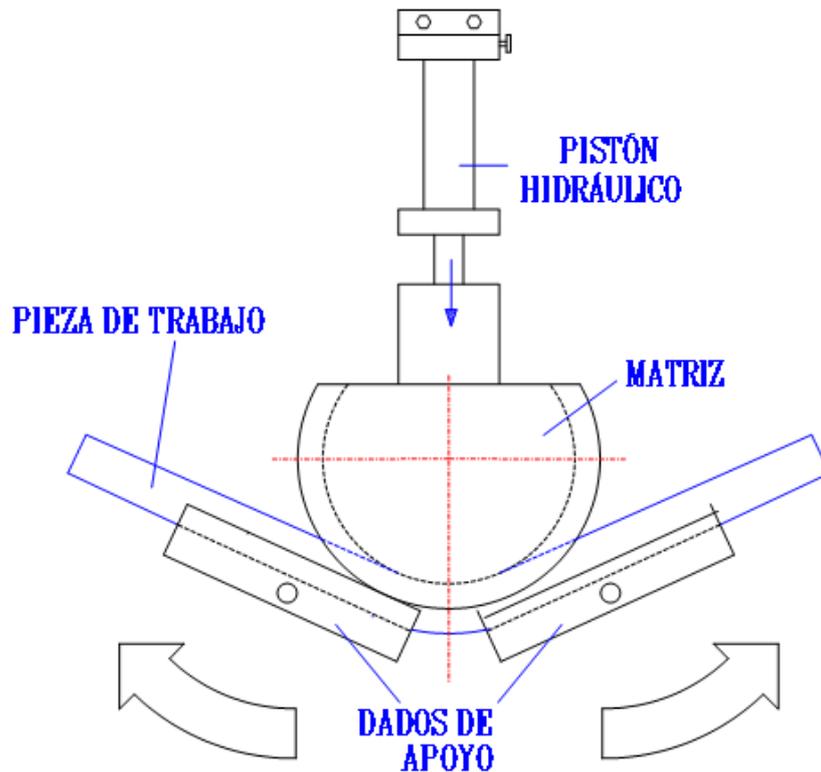


Fig. 2.9 Dobladora hidráulica.

La estructura inferior de la dobladora, va acoplada a la bomba o cilindro hidráulico y además al soporte; la parte superior de la estructura es desmontable, para facilitar la colocación de las guías de las matrices. Estas matrices van acopladas al émbolo del cilindro hidráulico y son intercambiables dependiendo del tubo a doblar.

Las guías o dados de apoyo giran solidarias a la matriz principal, mientras el pistón hidráulico sigue avanzando, permitiendo un contacto permanente entre matriz, tubo y dados de presión.

El cilindro hidráulico generalmente va provisto de una bomba de mando y depósito incorporado. La bomba puede ser accionada manualmente mediante un motor eléctrico, u otra fuente de energía.

**Ventajas:**

Poca recuperación elástica

Producción alta en operación continua.

Ángulo de doblado se obtiene con bastante exactitud.

Rapidez en el cambio de matrices.

Posibilidad de detener el vástago en cualquier punto

Esfuerzo mínimo del operador.

Empleada para doblar tubos de pared gruesa.

**Desventajas:**

Ángulo de doblado restringido a máximo 180°.

Reducción del espesor del tubo en la zona doblada.

Desgaste de la matriz con el émbolo.

Perdidas de presión por fugas de aceite hidráulico

**2.7 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.**

El objeto primordial al seleccionar entre las diferentes alternativas, debe ser encontrar la solución al problema que satisfaga mejor los requerimientos establecidos en el proyecto, tomando en cuenta los elementos que intervienen en el proceso de la toma de decisiones, como son:

- Posibles alternativas,
- Beneficios que se obtienen,
- Dificultad para llevar a cabo e implementar el proyecto.

Las alternativas a evaluar son:

**A:** DOBLADORA MANUAL POR ESTIRAMIENTO

**B:** DOBLADORA MANUAL A COMPRESIÓN

**C:** DOBLADORA HIDRAULICA

Para evaluar cada una de las alternativas planteadas y proceder a seleccionar la mejor alternativa, se parte de factores generales dentro de los cuales están:

- Factores Funcionales
- Factores de Construcción
- Factores Económicos

Para evaluar a las tres alternativas disponibles, se utiliza criterios que permitan comparar estas alternativas, y así cuantificar mediante la asignación de valores para determinar la importancia de cada uno de ellos. Los valores que se les asigne a estos criterios tienen restricciones que permiten comparar con mayor eficiencia las alternativas.

### **2.7.1 FACTORES FUNCIONALES**

- **Rendimiento.**

Es la cantidad de tubos doblados en un periodo de tiempo determinado, con el mínimo esfuerzo del operador.

- **Maniobrabilidad.**

Se refiere a la facilidad para que el operador maneje y utilice los diversos mecanismos de la máquina, así como realizar varios doblados en diferentes planos del tubo.

- **Confiabilidad.**

Es la probabilidad de que los mecanismos funcionen satisfactoriamente para un periodo de tiempo determinado.

- **Peso del conjunto.**

Es un factor que incide directamente en el costo de la máquina, así como la facilidad de transporte y montaje de la misma, ya que se ha previsto que sea portátil.

- **Espacio que ocupa.**

Dependiendo de la máquina (horizontal o vertical) y por el tamaño del tubo a doblarse, esta ocupará áreas diferentes.

- **Precisión en el doblado.**

Se debe evaluar la precisión que presentan las diferentes máquinas para un doblado correcto. Existen máquinas en las que por el método de doblado que utilizan, se pueden obtener radios y ángulos de curvatura con el mínimo margen de error, y la recuperación elástica es mínima.

## 2.7.2 FACTORES DE CONSTRUCCIÓN

Los factores de construcción requeridos para la maquina dobladora de tubos cuadrados son necesarios para evaluar todos los principios físicos y mecánicos en la construcción de una maquina entre los principales son: facilidad de construcción, facilidad de montaje y facilidad de mantenimiento.

- **Facilidad de construcción.**

Este factor evalúa que la máquina sea lo más sencilla, o que posea menos elementos, así como piezas de fácil construcción, con lo que no afectará los costos. La forma deberá ser simple para la construcción y deberá tomar en cuenta la disponibilidad de materiales y dispositivos necesarios para su construcción.

- **Facilidad de montaje.**

Se evalúa la máquina que ofrezca mayores ventajas para su montaje, debido a que la máquina debe ser portátil.

- **Facilidad de mantenimiento.**

Toda máquina requiere de mantenimiento en mayor o menor grado para su normal funcionamiento, por tanto, hay que determinar la complejidad de mantenimiento para cada alternativa.

### **2.7.3 FACTOR ECONOMICO**

La construcción de la máquina requiere el evaluar económicamente en forma comparativa cada una de las alternativas, se asumen los costos generales de los componentes más representativos de cada una de las máquinas, y se evalúa de acuerdo al precio del mercado.

En este caso que se trata de construir un prototipo de dobladora manual para perfiles cuadrados de acero SAE 1018 de 20mm a 25.4mm de 1 a 2mm de espesor se selecciona la máquina dobladora manual por compresión por la facilidad de construcción y la facilidad de encontrar los elementos necesarios para su funcionamiento los mismos que son de fácil acceso en el mercado.

### **2.8 INDICADORES DE EVALUACIÓN**

Para el análisis de los criterios que no dispongan de un parámetro base, se cuantificarán las alternativas como se indica a continuación en la tabla 2.8.:

CLASIFICACION	
Alta	5
Media-Alta	4
Media	3
Media-Baja	2
Baja	1

Tabla 2.8. Valores de asignación.

## 2.9 PRUEBAS PRELIMINARES

Debido a que no se posee toda la información que ayudaría para desarrollar la evaluación de las alternativas, es necesario realizar suposiciones y evaluaciones que se aproximen lo más posible a la realidad, basándose en los modelos de dobladoras anteriormente expuestas. Para la evaluación de este criterio, se ha tomado en cuenta la siguiente operación:

Tiempo de operación de doblado para obtener patas de sillas de asientos, Realizando dos dobleces a 90° utilizado tubo cuadrado de 20mm, espesor 1.1mm.

### Alternativa A

OPERACIÓN	TIEMPO
Preparación de la máquina	180 segundos
1° doblado	30 segundos
Maniobras intermedias	110 segundos
2° doblado	30 segundos
Cambio de tubos	30 segundos
Descanso del operador entre doblado	20 segundos
Total operación para 20 dobleces	2530 segundos

Tabla 2.9 Tiempos empleados durante el doblado para la alternativa A.

A medida que aumenta el espesor y la dimensión del tubo a doblar, el esfuerzo que debe realizar el operador es mayor, lo que significa que el tiempo requerido para realizar la operación de doblado aumenta, obteniendo una disminución del rendimiento.

### Alternativa B

OPERACIÓN	TIEMPO
Preparación de la máquina	130 segundos
1° doblado	30 segundos
Maniobras intermedias	70 segundos
2° doblado	30 segundos
Cambio de tubos	30 segundos
Descanso del operador entre doblado	20 segundos
Total operación para 20 dobleces	2080 segundos

Tabla 2.10. Tiempos empleados durante la operación de doblado para la alternativa B.

Al emplear este método, si se aumenta el espesor y dimensiones del tubo a doblar, se mantiene el esfuerzo realizado por el operador, obteniendo de esta manera un aumento de la producción.

### Alternativa C

OPERACIÓN	TIEMPO
Preparación de la máquina	130 segundos
1° doblado	70 segundos
Maniobras intermedias	70 segundos
2° doblado	70 segundos
Cambio de tubos	30 segundos
Descanso del operador entre doblado	20 segundos
Tiempo total de operación para 20 dobleces	2700 segundos

Tabla 2.11. Tiempos empleados durante la operación de doblado para la alternativa C.

Al emplear un pistón hidráulico como medio de transmisión de la fuerza requerida para el doblado, el operador no realiza esfuerzo, por lo que se obtiene una producción elevada.

La evaluación de la maniobrabilidad para las tres alternativas evaluadas es la siguiente:

Alternativa	Tiempo de operación
	45 mín. 10 seg.
<b>B</b>	34 mín. 40 seg.
<b>C</b>	44 min. 50 seg.

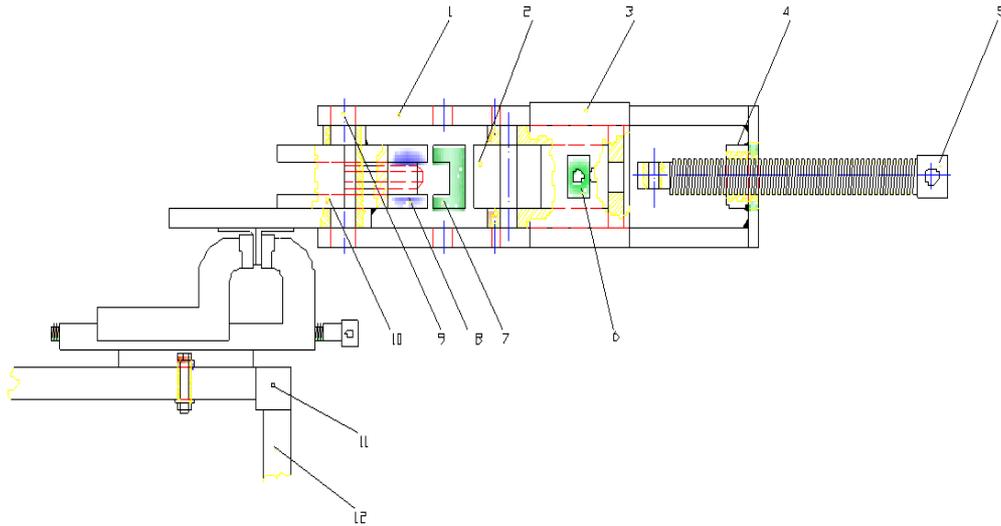
Tabla 2.12. Comparación de tiempos utilizados por las diferentes alternativas para realizar la operación de doblado.

## **2.10 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA**

En vista que las tres muestran características muy parecidas, y que cumplen con casi todos los parámetros establecidos para el desarrollo y construcción del presente proyecto, se opta por seleccionar la alternativa B como la que mejor cumple con el tiempo utilizado para realizar la operación de doblado, dicha alternativa es la DOBLADORA MANUAL A COMPRESIÓN.

### **2.10.1 ESQUEMA GENERAL DEL PROTOTIPO DE DOBLADORA MANUAL PARA PERFILES CUADRADOS.**

La figura 2.10 muestra el esquema general de la dobladora manual para perfiles cuadrados de 20mm y 25.4mm de 1 a 2mm de espesor, a construir.



ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA			
1	BRAZO PRINCIPAL	7	GUIA DE DOBLEZ
2	BRIDA DESLIZANTE	8	POSTIZO
3	ALMA DE DOBLEZ	9	EJE DE JIRO
4	TUERCA WHITWORTH	10	MATRIZ
5	TORNILLO ROSCADO PRINCIPAL	11	ENTENALLA
6	BOCIN	12	BANCO DE TRABAJO

Figura. 2.10 Elementos y partes de la máquina dobladora de tubos

## **CAPÍTULO III**

### **DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DOBLADORA DE TUBOS CUADRADOS**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La máquina dobladora de perfiles cuadrados es un prototipo de máquina de accionamiento manual, compuesta por diferentes elementos mecánicos como: tornillos, platinas de acero ASTM A-36, ejes, tuercas, matrices de doblado, pasador elástico normalizado entre otros; tiene como propósito fundamental doblar los tubos cuadrados de 20 y 25.4mm de 1 a 2 mm de espesor los cuales son colocados en la máquina prototipo de doblado pero de acuerdo a la matriz que le corresponde a cada uno de los mismos en los cuales se va a realizar el proceso de doblado , para montarlos y desmontarlos con facilidad, de tal manera que puedan ser sustituidos.

El dimensionamiento significa la especificación de las medidas externas de cada uno de los elementos de la máquina, detalladas en planos, necesarios para que máquinas, estructuras, sistemas o proceso; desarrollen las funciones deseadas, a través de la investigación y con la ayuda de cálculos.

#### **3.2 ASPECTOS GENERALES DEL DOBLADO DE TUBERIA**

El doblado de tubos es muy similar al doblado de barras. En el caso de doblado de tubería la pared del tubo afecta a la distribución de los esfuerzos de tracción y compresión durante el proceso de doblado. El tubo experimenta en la zona de tracción un adelgazamiento de la pared, que es la causa principal de aplastamientos y fisuras en el tubo; por lo tanto un tubo de pared gruesa se doblara con facilidad para un radio pequeño de curvatura.

En el proceso de doblado se requiere que el material posea suficiente ductilidad a fin de que pueda deformarse plásticamente sin que llegue a la rotura.

Existen accesorios importantes en el proceso de doblado de tubos. El primero se denomina matriz, el cual proporciona el radio de curvatura deseado y se encuentra en el lado interior de la zona doblada. El segundo es el mandril cuya función principal es prevenir el aplastamiento del tubo, este se coloca dentro del tubo a ser doblado.

### **3.3 LA FUERZA DEL DOBLADO**

Un primer aspecto importante para el doblado, es la magnitud de la fuerza, momento o potencia requeridos para realizar dicha operación. El estudio de las fuerzas, permite dimensionar, construir y escoger los materiales apropiados. La fuerza de doblado se define como aquella capaz de provocar en el material su momento límite; esto es lograr que el límite de fluencia se propague por toda la sección transversal, adquiriendo un radio de curvatura determinado. En el caso de nuestra matriz el ángulo de curvatura máximo que se debe doblar es de  $90^\circ$  ya que depende de la forma de la matriz a utilizar para cada tubo.

### **3.4 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Los materiales se seleccionan con el objetivo de elegir los adecuados para satisfacer los requerimientos de un diseño específico (producción, operación y mantenimiento) y a la vez producir el componente o mecanismo a un costo aceptable, con la ayuda de especificaciones técnicas, normas y también a través de criterios de selección como: construcción, montaje, mantenimiento y costos.

La facilidad de construcción y montaje para el funcionamiento óptimo del equipo. El mantenimiento ya que esto garantiza y prolonga la vida útil de los mecanismos que lo conforman. Los costos es un factor muy importante en el campo constructivo, como también la adquisición de materiales en el mercado

local de los dispositivos a utilizar. La seguridad para el manejo del operario, para evitar cualquier tipo de accidente que pueda presentarse durante el proceso de doblado. Otros como por ejemplo la experiencia adquirida en los laboratorios de conformado mecánico, o en las prácticas realizadas en talleres.

### **3.5 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN**

Los materiales para la construcción de la dobladora manual de tubos cuadrados se escogieron en base a los parámetros y criterios antes mencionados como también la inspección visual en otras maquinas.

#### **3.5.1 ACERO DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO ASTM A-36**

Por la disponibilidad que se tenía de este material se seleccionó para realizar, la construcción de los diferentes elementos y mecanismos de la dobladora manual, además por su fácil adquisición, su costo relativamente bajo en el mercado local el mismo que tiene variedad de aplicaciones para fines de diseño.

#### **3.5.2 ACERO DE TRANSMISIÓN AISI – SAE 1018**

Por la disponibilidad que se tenía de este material conocido en el mercado como acero de transmisión; se seleccionó para realizar la construcción de los tornillos y ejes de la dobladora manual, ya que es un acero de alta resistencia, para uso en partes de maquinaria, piñones, rodillos, flechas, engranajes, tornillos sin fin, pernos de dirección, pernos de cadena, ruedas de cadena, etc.

### **3.6 LUBRICANTES PARA EL PROCESO DE DOBLADO**

Los lubricantes permiten un buen funcionamiento mecánico al evitar la abrasión y las deformaciones del material. Para el doblado en general se utilizan los siguientes lubricantes: aceites minerales, aceites colorantes, aceites grasos, grasas sulfuradas, productos jabonosos, pastas, grasas y ceras. Para realizar

el proceso de doblado en esta máquina se recomienda utilizar grasa sulfurada en los elementos principales que estén en contacto con la superficie del tubo en el proceso de doblado.

### **3.7 DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN**

El dimensionamiento y construcción se realizó tomando como base algunas máquinas existentes en catálogos de productos para la industria, talleres de reparación y en la bibliografía. Las medidas que se utilizó para dimensionar este proyecto se ha escogido de una manera adecuada a la necesidad de uso ya que el proyecto es diseñado y construido por nosotros, dichas medidas van de acuerdo al espacio para la colocación de todos los elementos seleccionados.

Recopilando lo mejor de cada una de estas fuentes de información y aprovechando los recursos, materiales existentes en el medio, la dobladora tiene los siguientes elementos que lo constituyen:

#### **3.7.1 BRAZO PRINCIPAL**

Este mecanismo está constituido por platinas de acero ASTM A-36 de 50x12mm, cortados y mecanizados mediante desbaste, unidos con soldadura E-6011 y E-6013 (Anexo IV). El mismo sirve de soporte de todo el equipo de doblado, a la vez que es la que le da la forma al doblado de los tubos tiene la forma de una U ya que la misma gira alrededor de la matriz fija la cual se encuentra fija en las mordazas de la entenalla; elaborada para cada tubo. La misma que debe ser lo suficientemente rígida y estable para facilitar su operación además se debe evitar que los elementos que sobre ella están sufran algún daño si se produce una caída. (Anexo VII, planos 01).

Sobre la misma se monta la brida deslizante, de control para el doblado y demás mecanismos y tiene las siguientes longitudes dos platinas de 330.83x50 espesor de 12mm que están soldadas a la platina de 88x112.2 espesor 10mm.

Posee una tuerca whitworth normal DIN de 7/8 de (pulg.) 22.2mm de diámetro interior, que va soldada con electrodo E-6011 diámetro 3/16pulg (fig.3.1)



Figura 3.1 Brazo principal

### 3.7.2 BRIDA DESLIZANTE

Este mecanismo está constituido por platinas de acero ASTM A-36 de 50x12mm, cortados y mecanizados mediante desbaste, unidos con soldadura E-6011 y E-6013. (Anexo IV, VII, plano 02) Este elemento va montado sobre el brazo principal, sobre el que se desliza gracias a la acción del tornillo. La función de este elemento es sujetar al alma de doblez, él mismo que aprieta la guía de doblez junto con el tubo contra la matriz fija. Las dimensiones de este elemento son: 107x88x124mm (fig.3.2).



Figura 3.2 Brida Deslizante

### 3.7.3 ALMA DE DOBLEZ

Constituye el elemento fundamental de la máquina ya que es el encargado de ajustar a la guía de doblez correspondiente a cada matriz de doblado, de dimensiones 50.8mm de diámetro y 40mm de longitud, el mismo que se encuentra alojado en la parte interna de la brida deslizante acoplado por un pasador de 12mm de diámetro y una longitud de 64mm los mismos que son construidos en acero de transmisión SAE 1018 utilizando procesos de conformado con arranque de viruta. Es accionada por el tornillo roscado principal, y el alma de doblez se desplaza ajustando a la guía de doblez junto con el tubo en sentido horizontal alrededor de la matriz fija ajustada al banco de trabajo (entenalla), para lograr el proceso de doblado. (Anexo VII, plano 03) (fig.3.3)



Figura 3.3 Alma de DobleZ

### 3.7.4 TORNILLO ROSACADO PRINCIPAL

En el caso de la máquina prototipo el elemento tornillo roscado es esencial para su funcionamiento, este es accionado por medio de una palanca que está ajustada al mecanismo por el sistema eje-agujero roscado construido mediante el proceso de torneado, en acero bonificado 705(AISI 4337 Anexo III) de dimensiones 25.4mm de diámetro y una longitud de 460mm el mismo que tiene una rosca whitworth normal DIN con paso de 2mm y diámetro exterior (7/8 pulg.) 22mm el mismo acciona a la brida deslizante. Este se encuentra

acoplado a la brida deslizante mediante un bocín de  $\phi 25\text{mm}$  exterior y  $\phi 18\text{mm}$  interior y un pasador elástico DIN de 6.5mm de diámetro por 230mm de longitud normalizado en un extremo del eje roscado de 17mm de diámetro por 49mm de longitud. (Anexo VII, plano 04) (fig.3.4)



Figura 3.4 Tornillo roscado Principal

### 3.7.5 BOCIN

Este es un elemento de acero de transmisión SAE 1018 de 30mm de diámetro exterior y 17mm de diámetro interior por 10mm de espesor, cortado y mecanizado mediante el proceso de torneado y taladrado, el cual se acopla con un extremo del tornillo roscado principal mediante un pasador elástico normalizado DIN de dimensiones 6.5mm de diámetro por 25mm. De modo que ajuste el extremo del tornillo principal contra la brida deslizante y permita que se deslice la brida deslizante en el proceso de doblado. (Anexo VII, plano 05) (fig.3.5)



Figura 3.5 Bocín

### 3.7.6 PASADOR ELÁSTICO

Es un elemento normalizado y se adquirió en el mercado local, pasador elástico DIN 1481 de dimensiones 6.5mm de diámetro por 25mm para apretar o aflojar el extremo interno que va con el tornillo principal, se lo emplea para sujetar al tornillo principal con el bocín, el mismo permite el movimiento longitudinal de la brida deslizante que es accionada por el tornillo principal. (Anexo IV) (fig.3.6).



Figura3.6 Pasador elástico

### 3.7.7 EJE PALANCA

Es un eje de acero de transmisión SAE 1018 de 25.4mm de diámetro por 230mm de longitud, cortado y refrentado (fig.3.7). (Anexo VII, plano 06). Este elemento sirve para el accionamiento del brazo principal provocando el deslizamiento del brazo sobre el eje principal y la matriz fija, el mismo que es accionado acoplándolo un tubo redondo en un extremo del eje, que se lo utiliza como palanca para realizar el proceso de doblado.



Figura 3.7 Eje Palanca

### 3.7.8 GUÍA DE DOBLEZ DE 20mm.

Este elemento es de acero ASTM A-36 mecanizado mediante el proceso de fresado, constituye la parte fundamental para doblar el tubo cuadrado de (3/4 pulg.) 20mm, de dimensiones (220x38x24) mm (fig.3.8). (Anexo VII, plano 07). Presenta un acanalado interno en una cara longitudinal de dimensiones (13x220)mm el mismo que ajusta al tubo contra la matriz, la guía es arrastrada por el alma de doblado, la brida deslizante y el brazo principal, la misma que gira sobre la matriz fija, obteniendo así la curvatura sin defectos en el proceso de doblado.



Figura 3.8 Guía de doblado de 20mm (3/4 pulg.)

### 3.7.9 GUÍA DE DOBLEZ 25.4mm.

Este elemento es de acero ASTM A-36 mecanizado mediante el proceso de fresado, constituye la parte fundamental para doblar el tubo cuadrado de (1 pulg.) 25.4mm, de dimensiones (202x48x30.7) mm. Presenta un acanalado interno en una cara longitudinal de dimensiones (17x202)mm el mismo que ajusta al tubo contra la matriz, la guía es arrastrada por el alma de doblez, la brida deslizante y el brazo principal, la misma que gira sobre la matriz fija, obteniendo así la curvatura sin defectos en el proceso de doblado (fig.3.9). (Anexo VII, plano 08).



Figura 3.9 Guía de doblez de (1pulg.) 25.4 mm

### 3.7.10 BRIDA DE SUJECIÓN DE 20mm

La brida de sujeción es de acero ASTM A-36 cortada y mecanizada mediante el proceso de fresado y taladrado de dimensiones (43x65x25) mm, tiene un sujetador interno de (35x24x25) mm (fig.3.10). La misma que presenta un acanalado de (24x20) mm con un agujero de 11mm de diámetro al cual se encuentra acoplado con un perno whitworth normalizado de dimensiones ½ pulg. por 38mm de longitud (Anexo IV), mediante un pasador de 4mm de diámetro por 35.4mm de longitud. La misma que se acopla con el postizo de acero ASTM A-36 que se encuentra soldado en la matriz de 20mm, el mismo que sujeta al tubo para realizar el proceso de doblado. (Anexo VII, planos 09,10)



Figura 3.10 Brida de sujeción de 20mm

### 3.7.11 BRIDA DE SUJECIÓN DE 25.4mm

La brida de sujeción es de acero ASTM A-36 cortada y mecanizada mediante el proceso de fresado y taladrado de dimensiones (43x65x25) mm, tiene un sujetador interno de (35x24x25) mm (fig.3.11). Presenta un acanalado de (24x25.4) mm con un agujero de 11mm de diámetro al cual se encuentra acoplado con un perno whitworth normalizado de dimensiones ½ pulg. por 38mm de longitud (Anexo IV), mediante un pasador de 4mm de diámetro por 35.4mm de longitud, el cual se ajusta mediante el perno de apriete, al tubo contra el postizo de acero ASTM A-36 soldado en la matriz correspondiente, para impedir que el tubo se deslicé en el proceso de doblado. (Anexo VII, planos 11,12).



Figura 3.11 Brida de sujeción de (1ulg.) 25.4mm

### 3.7.12 EJE DE GIRO

Es un eje de acero bonificado 705 ASI 4337 (Anexo IV) mecanizado mediante el proceso de torneado de dimensiones 24mm de diámetro por 113mm de longitud, que va acoplado en el brazo principal y matriz fija correspondiente, el cual es esencial para que exista un giro alrededor de la matriz que es accionado por el tubo que va acoplado en el eje palanca produciendo el movimiento del brazo principal para el proceso de doblado (fig.3.12). (Anexo VII, plano 13)



Figura 3.12 Eje de Giro

### 3.7.13 MATRICES DOBLADORAS

Las matrices están elaboradas de Acero ASTM A-36, de manera que el tubo pueda alojarse en ellas, su forma está determinada por el radio mínimo de curvatura, el cual es exclusivo de cada uno de los tubos que se van a doblar, por esta razón cada matriz tiene sus medidas y características específicas.

En nuestro caso por facilidad de desmontaje se realiza un acanalado de las matrices con  $1/3$  de la medida del área del tubo cuadrado, ya que la guía de doblez tiene un acanalado con los  $2/3$  de la medida del área del tubo cuadrado en una de sus caras.

Las matrices están elaboradas de tal manera que presentan un acanalado en la cara lateral y en el centro presentan una ranura para que la cara inferior del

tubo pueda alojarse en ellas, en el caso de los tubos cuadrados para eliminar las jorobas o pliegues en el área de doblado y por facilidad de montaje y desmontaje del tubo después del proceso de doblado y por experimentación realizada en el proceso de construcción en las mismas que fue necesario realizar una ranura en la parte interna de la matriz que está en contacto con la superficie del tubo y matriz, para así lograr la eliminación de pliegues, jorobas presentados en el área de doblado obligando a las mismas a un proceso de embutición y eliminación del uso de relleno de arena en el tubo (fig.3.13).



Figura 3.13 Matriz para doblar tubo cuadrado de  $\frac{3}{4}$  realizada en torno CNC

**Fuente** : [www.metal-n-more.com](http://www.metal-n-more.com)

Mientras menor sea el radio de curvatura en la matriz, al realizar el doblado del tubo cuadrado, se queda impregnado en el área de doblado produciéndose un terminado defectuoso en la calidad del acabado del material.

La ranura interna en la matriz es esencial ya que ayuda a que el proceso de doblado se realice con éxito al ángulo deseado. Esto es necesario ya que el proceso y estudio para este proyecto es un proceso que se lo realiza manualmente, con matriz en forma semicircular para el caso de doblado de tubos de 20mm y soldada con un postizo del mismo espesor con un acanalado de acuerdo al tubo cuadrado que se desee doblar. y para doblar el tubo de 25mm se realiza una matriz de forma circular.



Figura 3.14 Matriz de ( $\frac{3}{4}$  de pulg.) 20mm

### 3.7.13.1 MATRIZ DE 20mm.

Es una matriz de acero ASTM A – 36 cortado y mecanizado mediante el proceso de torneado de dimensiones 126mm de diámetro que presenta una perforación central verticalmente de 19mm, en donde se aloja el eje de giro que permite su movilidad y un espesor de 38mm, Presenta un acanalado interno de 7mm por 20.5mm, alrededor de la misma con una ranura de 116mm de diámetro interno con una altura de 2mm; esta ranura provoca en el instante del doblado que la superficie del tubo que está en contacto con la matriz sometido a compresión y obliga a desaparecer (embutir hacia adentro) los pliegues o arrugas que aparecen y sean comprimidas uniformemente para tener un mejor acabado en el proceso (fig.3.15). (Anexo VII, plano 14,15)



Figura 3.15 Matriz de 20mm.

Esta matriz de doblez tiene la forma semicircular, soldada a un postizo de acero ASTM A-36 con electrodo E-6011 y E-6013 (Anexo IV, VII, plano 16) en un extremo de dimensiones (50x24x38) mm, mecanizado mediante el proceso de fresado que presenta un acanalado en una de sus caras de dimensiones (50x20.5x8) mm en el cual montamos la brida de sujeción de 20mm. Y se ajusta al tubo para realizar el proceso. En la cara superior se coloca un bocin de acero de transmisión SAE 1018 soldado en el centro de dimensiones 30mm de diámetro exterior con un diámetro interior de 20mm y con un espesor de 12mm. En la cara inferior va soldada una platina de acero ASTM A-36 cortada y mecanizada de dimensiones (240x50x12) mm con una perforación en uno de sus extremos de 20 mm de diámetro (Anexo VII, planos 17) (fig.3.16).



Figura 3.16 Matriz de Doblez

### 3.7.13.2 MATRIZ DE 25.4mm

Es una matriz de acero ASTM A-36 cortado y mecanizado mediante los procesos de torneado, de dimensiones 136mm de diámetro que presenta una perforación central verticalmente de 19mm, en donde se aloja el eje de giro que permite su movilidad y un espesor de 49.5mm, la misma que presenta un acanalado interno de 8mm por 25.4mm, alrededor con una ranura de 128mm de diámetro interno con una altura de (1.5x19)mm; esta ranura provoca en el instante del doblado que la superficie del tubo que está en contacto con la matriz sometida a compresión, obliga a desaparecer (embutir hacia adentro) los

pliegues o arrugas que aparecen y sean comprimidos uniformemente para tener un mejor acabado en el proceso (fig.3.17). (Anexo VII, plano 18)



Figura 3.17 Matriz de 25.4mm

La matriz de doblez tiene la forma circular cortada a un extremo, empernada un postizo de acero ASTM A-36 en un extremo de dimensiones (62.4x36x24) mm (Anexo VII plano 19), mecanizado mediante el proceso de fresado, presenta un acanalado interno en una de sus caras de dimensiones (62.4x25.4x8.5) mm, este postizo se encuentra acoplado con la matriz mediante dos pernos hexagonales (M8x30) mm (Anexo IV Tabla de elementos Normalizados) en el cual acoplamos la brida de sujeción de 1pulg. Para sujetar al tubo.

La matriz se encuentra acoplada a un ángulo de acero ASTM A-36 de dimensiones (120x50) mm mediante dos pernos allen (M12x30) mm los que son ajustados con la matriz, para acoplar a la entenalla o banco de trabajo para realizar el proceso de doblado.

#### **3.7.14 PALANCA DE AJUSTE**

Este elemento es de acero de transmisión SAE 1018 de dimensiones 20mm de diámetro por 30mm de longitud, cortado y formado, en uno de sus extremos es calentado con suelda oxiacetilénica hasta que se encuentre al rojo vivo, la cual es golpeada en el yunque para darle forma plana, ya que este se acopla en el

tornillo principal con el sistema eje agujero, el cual acciona al tornillo principal (fig.3.18).



Figura 3.18 Palanca de ajuste

### 3.8 MONTAJE DE LA MÁQUINA PROTOTIPO

Previo al funcionamiento de la máquina prototipo de dobladora manual para perfiles cuadrados es de suma importancia conocer como se realizó el montaje. (Plano 001)



Figura 3.19 Componentes de la máquina

1. El brazo principal se debe colocar en una superficie a nivel.
2. Realizar el montaje de la brida deslizante en el brazo principal.
3. Colocar el tornillo roscado, al brazo principal y brida deslizante con la ayuda del plano de conjunto, el mismo que es sujetado en la parte interna de la matriz con el bocin y pasador elástico DIN 1481 de dimensiones 6.5mm de diámetro por 30mm de longitud donde se produce el movimiento.
4. Montar el alma de doblez que es alojado en la parte interna de la brida deslizante, acoplado mediante un pasador de 12mm de diámetro por 64mm de longitud en los dos extremos internos de la brida deslizante.
5. Colocar y ajustar correctamente la matriz indicada para cada prueba en el banco de trabajo o entenalla.
6. Acoplar el brazo principal con todos sus elementos, a la matriz de doblado, mediante el eje de jiro de 18.8mm de diámetro por 97.7mm de longitud, el mismo que va acoplado verticalmente en el centro de la matriz y brazo principal, este permite el movimiento angular alrededor de la matriz en el proceso de doblado.
7. Colocar la brida de ajuste correspondiente a cada matriz en los postizos para ajustar al tubo que va a realizar la prueba.
8. Verificar el correcto funcionamiento y montaje de todos los elementos para proceder a realizar el proceso de doblado.
9. Colocar el tubo cuadrado con la superficie de laminado en el acanalado interno de la matriz, ajustar mediante la brida de ajuste correspondiente el tubo de prueba.
10. Lubricar el eje de giro, el acanalado de la matriz y la guía de doblez.

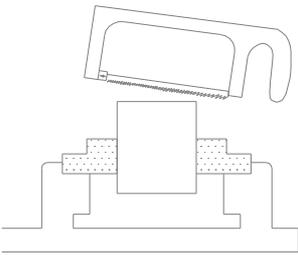
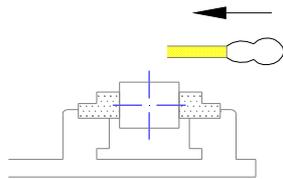
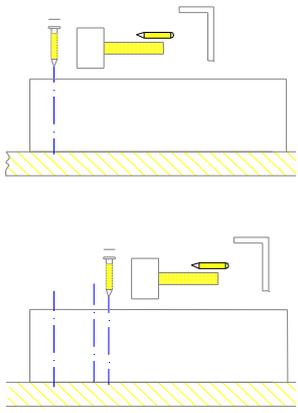
11. Colocar la guía de doblez correspondiente contra la superficie del tubo cuadrado, el mismo que es ajustado por el accionamiento del tornillo roscado principal que ajusta al tubo contra la matriz.
12. Sacar la palanca de ajuste del tornillo roscado principal.
13. Colocar el eje palanca en el extremo derecho del brazo principal que acoplándole un tubo de acero SAE 1018, aplicándole una fuerza constante provoca el deslizamiento del brazo principal alrededor de la matriz fija, la guía de doblez es arrastrada por el alma de doblez. Obteniendo de esta manera un proceso de doblado de calidad en el material.

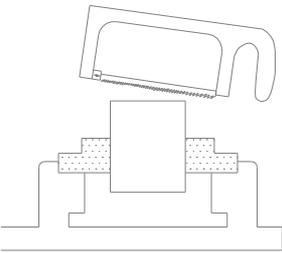
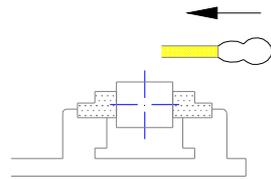
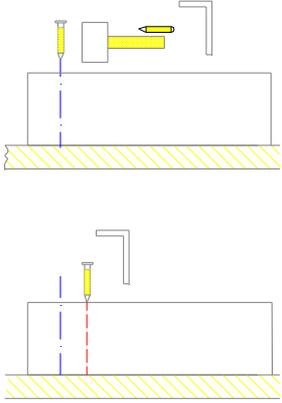


Figura 3.20 Montaje de la máquina con la matriz de 25.4mm

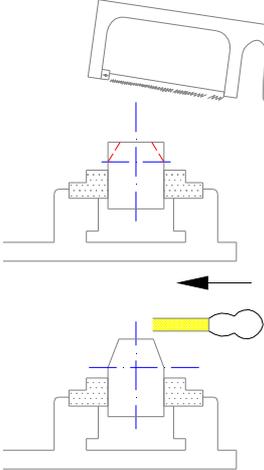
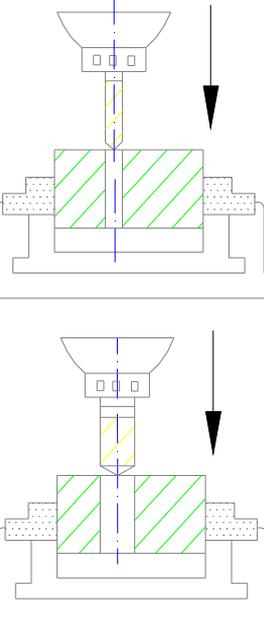
### **3.9 HOJAS DE PROCESOS DE LA FABRICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA DOBLADORA.**

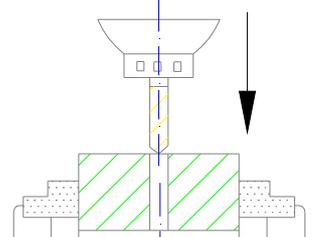
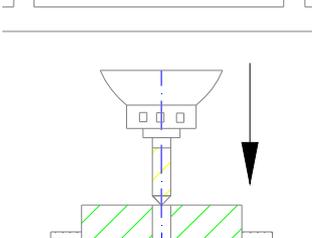
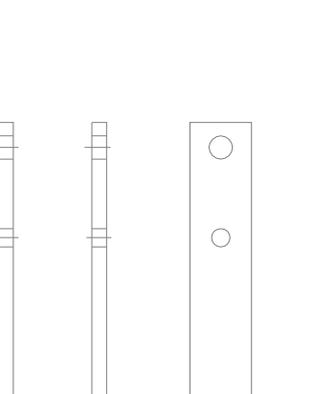
En las páginas 96 hasta la 122 se muestran las hojas de proceso de la fabricación de las piezas.

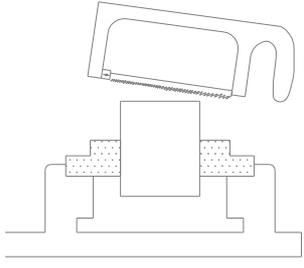
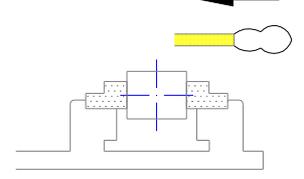
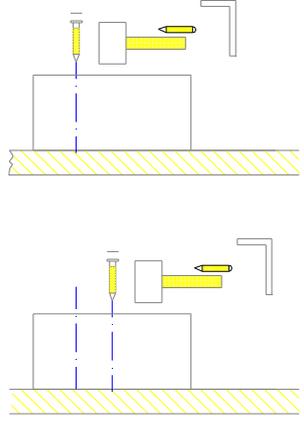
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	CORTAR PLATINA e=12 L=323		JUNTE NALLA SIERRA VAIVEN PIE DE REY				10'
2	Limar areas cortadas de la Platina		MESA ESCUE DRA LIMA		Manual		5'
3	3.1 Trazar centros de simetría 3.2 Trazar linea de referencia 3.3 Granetear en centros ya trazados  Medidas ver en el plano		MESA ESCUE DRA RAYA DOR GRANE TE MARTI LLO  PIE DE REY				10'
Numero de piezas:		2					
Escala: 1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>BRAZO PRINCIPAL DE DOBLEZ</b>				Fecha: 19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N° 01	

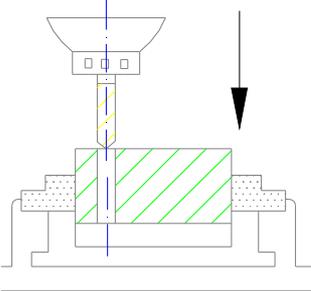
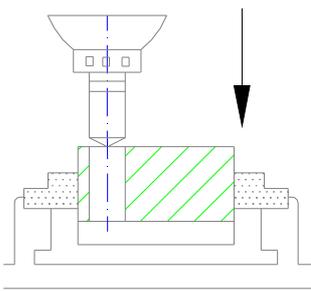
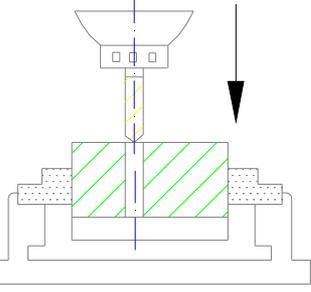
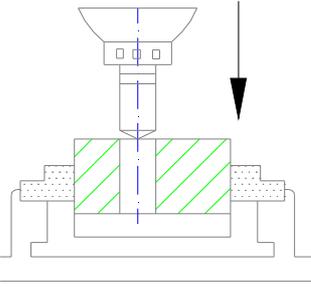
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	1.1 CORTAR PLATINA e=12 L=323		JENTE NALLA SIERRA VAIVEN PIE DE REY				10'
2	Limar areas cortadas de la Platina		MESA ESCUA DRA LIMA		Manual		5'
3	3.1 Trazar centros de simetria 3.2 Trazar linea de referencia 3.3 Granetear en centros ya trazados 3.5 Trazar linea de referencia para realizar el chaflanado a 45°  Medidas ver en el plano		MESA ESCUA DRA RAYA DOR GRANE TE MARTI LLO PIE DE REY				10'
Numero de piezas:		2					
Escala: 1:2		FASES DE TRABAJO  BRAZO PRINCIPAL DE DOBLEZ				Fecha: 05/08/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N° 01	

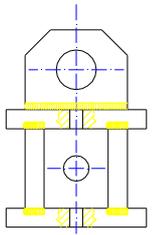
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
4	4.1 Perforar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø19	13	0.04	1000	5'
	4.2 Taladrar hasta Ø19			15	0.03	250	15'
	Medidas ver en el plano						
5	5.1 Señalar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø15	13	0.04	1000	5'
	5.2 Taladrar hasta Ø15			15	0.04	312	10'
	Medidas ver en el plano						
Numero de piezas:		2					
Escala:		1:2		FASES DE TRABAJO			
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		E.P.N					
				Fecha: 19/09/2008			
				Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA			
				Lámina N° 01			
				BRAZO PRINCIPAL DE DOBLEZ			

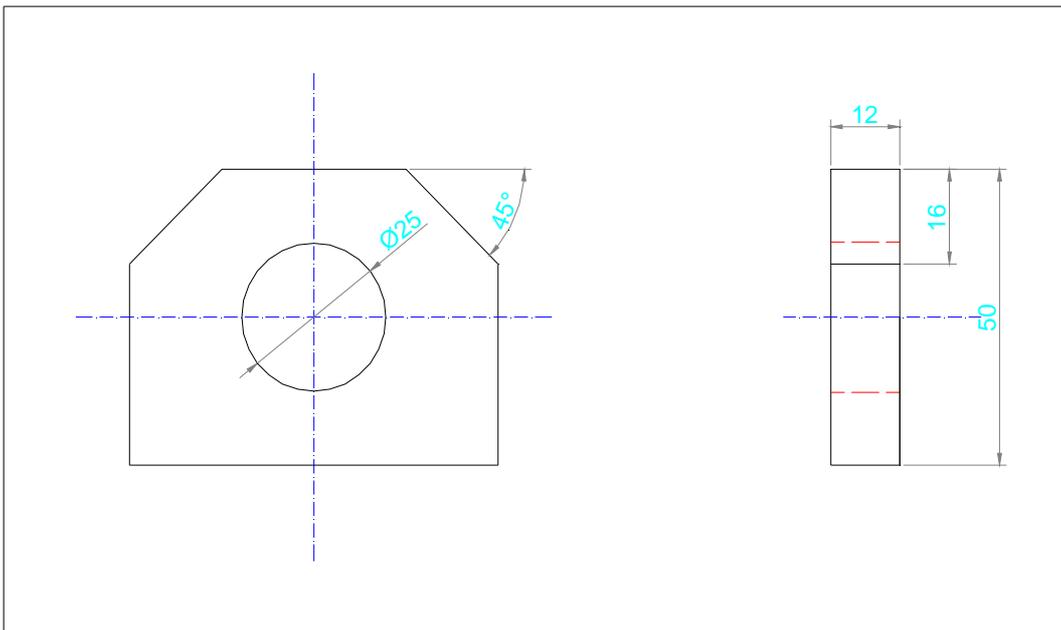
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)	
6	<p>6.1 Cortar el area señalada de la platina</p> <p>6.2 Limar para obtener un chaflanado a 45°</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		<p>MESA ESCUADRA SIERRA LIMA PIE DE REY</p>		<p>Manual</p> <p>Manual</p>		<p>15'</p> <p>20'</p>	
7	<p>7.1 Señalar con Broca de centros</p> <p>7.2 Taladrar hasta Ø25</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		<p>ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø25</p>	<p>13</p> <p>15</p>	<p>0.04</p> <p>0.03</p>	<p>1000</p> <p>190</p>	<p>10'</p> <p>15'</p>	
Numero de piezas:		1						
Escala: 1:2		FASES DE TRABAJO				Fecha: 19/09/2008		
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		BRAZO PRINCIPAL DE DOBLEZ				Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA		
E.P.N						Lámina N° 01		

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
8	8.1 Señalar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø5				
	8.2 Taladrar hasta Ø5			13	0.04	1000	5'
9	9.1 Soldar platinas cortadas y perforadas de acuerdo en los planos		Solda eléctrica Electrodos 6011 6013				30'
	9.2 Soldar Tuerca M 22 en la platina						
Numero de piezas:		3					
Escala:	<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>BRAZO PRINCIPAL DE DOBLEZ</b>					Fecha: 19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N° 01	

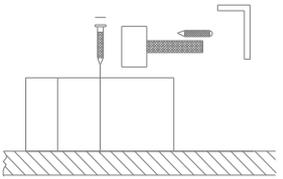
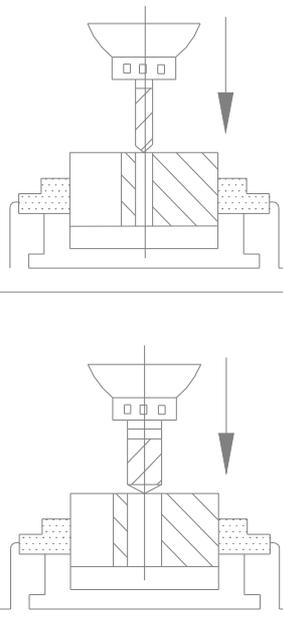
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)	
1	CORTAR PLATINA e=12 L=76		HERRAMIENTA SIERRA VAIVEN PIE DE REY				10'	
2	Limar areas cortadas de la Platina		MESA ESCUADRA LIMA		Manual		5' 5'	
3	3.1 Trazar centros de simetria 3.2 Trazar linea de referencia 3.3 Granetear en centros ya trazados  Medidas ver en el plano		MESA ESCUADRA RAYADOR GRANETE MARTILLO				10'	
Numero de piezas:		5						
Escala: 1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>CUERPO DESLIZANTE</b>					Fecha: 19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA							Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N							Lámina N:02	

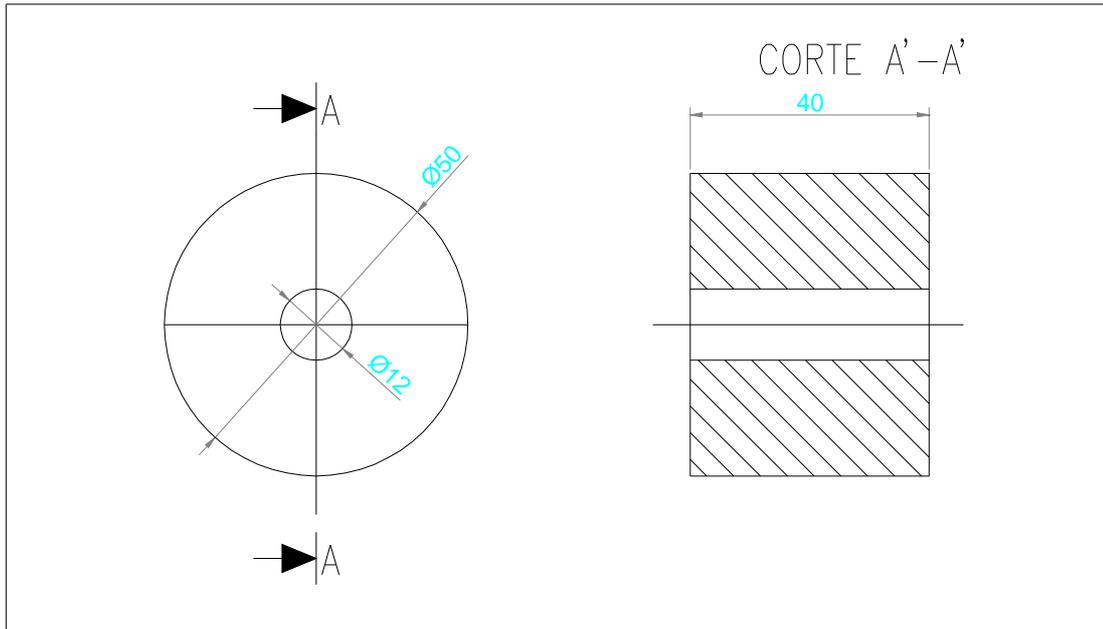
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
4	4.1 Señalar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø8	13	0.04	1000	5'
	4.2 Taladrar hasta Ø8			15	0.03	600	10'
	Medidas ver en el plano						
5	5.1 Señalar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø8	13	0.04	1000	5'
	5.2 Taladrar hasta Ø8			15	0.03	600	10'
	Medidas ver en el plano						
Numero de piezas:		5					
Escala:		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>CUERPO DESLIZANTE</b>				Fecha:	
1:2						19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre:	
E.P.N						JUAN TACO JULIO QUINGA	
		Lámina N°:02					

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
6	<p>Soldar platinas de acuerdo con los planos cortadas y taladradas</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		<p>Suelda eléctrica</p> <p>Electrodos 6011 6013</p>				30'
Numero de piezas:	6						
Escala: 1:2	<p>FASES DE TRABAJO</p> <p>CUERPO DESLIZANTE</p>					<p>Fecha: 19/09/2008</p>	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						<p>Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA</p>	
E.P.N						<p>Lámina N°:02</p>	



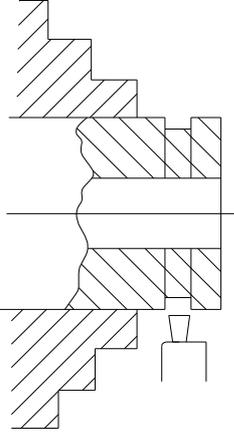
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	Cortar Platina e=12 L= 52		Sierra Entenalla				5'
2	2.1 Limar Area cortada  2.1 Trazar chaflanes  2.2 Cortar y Limar chaflan a 45°		MESA ESCUELA RAYA DOR GRANETE MARTILLO PIE DE REY			Manual Manual Manual	10' 5' 15'
Numero de piezas:		1					
Escala: 1:2		FASES DE TRABAJO  CUERPO DESLIZANTE				Fecha: 19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N°02	

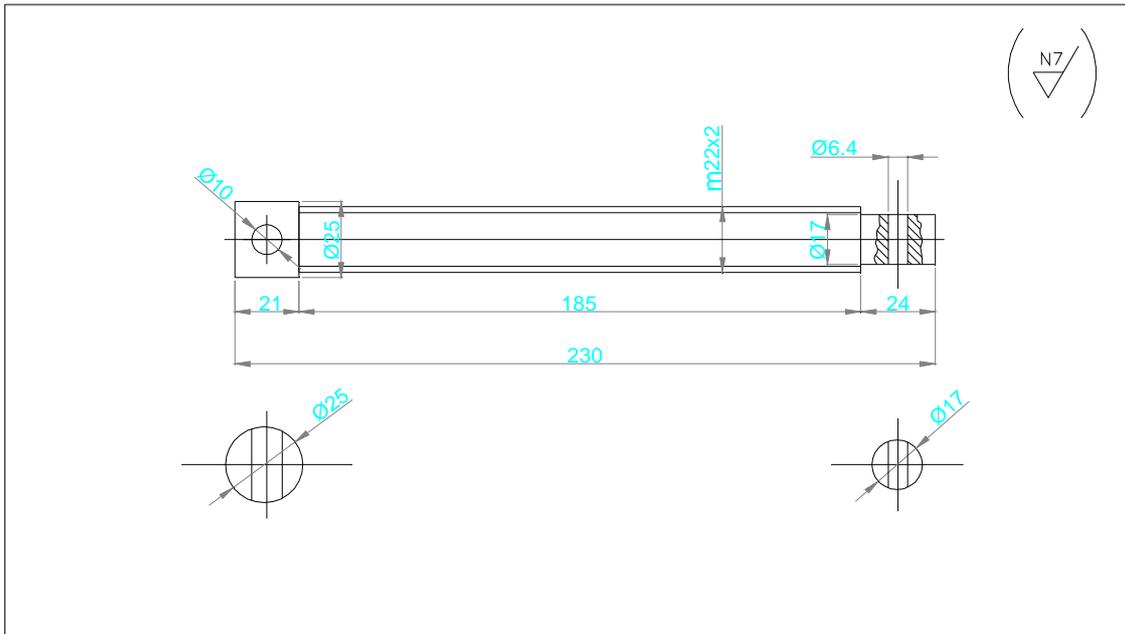
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)	
3	<p>3.1 Trazar centros de simetria</p> <p>3.2 Trazar linea de referencia</p> <p>3.3 Granetear en centros ya trazados</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		<p>MESA ESCUADRA</p> <p>RAYA DOR</p> <p>GRANETE</p> <p>MARTILLO</p>				5'	
4	<p>4.1 Señalar con Broca de centros</p> <p>4.2 Taladrar hasta Ø25</p>		<p>ENTE NALLA TALADRO DE BANCO</p> <p>BROCAS HSS HASTA Ø25</p>	13	0.04	1000	3'	
15	0.03	190	5'	<p>Numero de piezas: 1</p> <p>Escala: 1:2</p> <p>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</p> <p>E.P.N</p>	<p>FASES DE TRABAJO</p> <p><b>BRAZO GUIA PARA DOBLADO</b></p>	<p>Fecha: 19/09/2008</p>	<p>Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA</p>	<p>Lámina N:02</p>



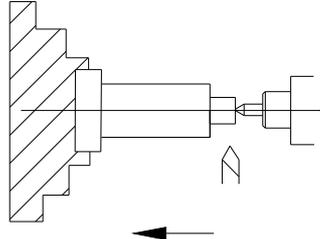
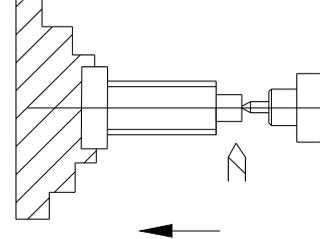
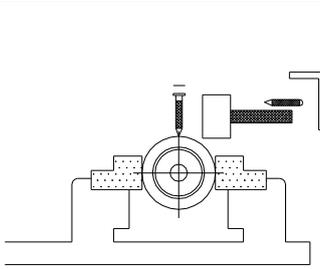
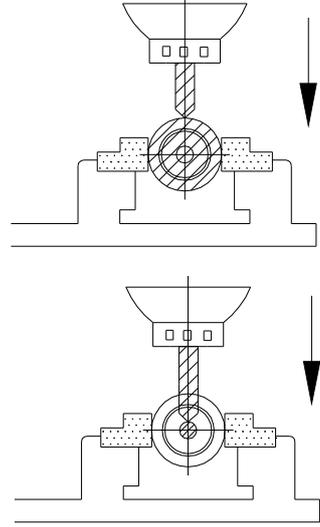
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	CORTAR EJE L =45		Sierra Entenalla				5'
2	2.1 Refrentar		.TORNO	50	Manual	320	10'
	2.2 Realizar centros		.CUCHILLA HSS	13	Manual	1000	10'
	2.3 Cilindrar Exterior Ø 60		.BROCA HSSØ6	50	0.03	320	50'
	2.4 Perforar Ø 12		.BROCA HASTA Ø12	15	Manual	395	30'

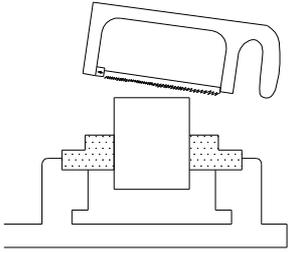
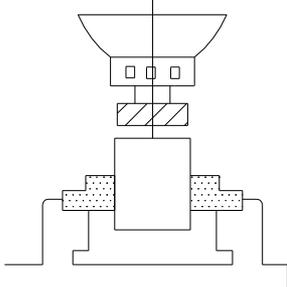
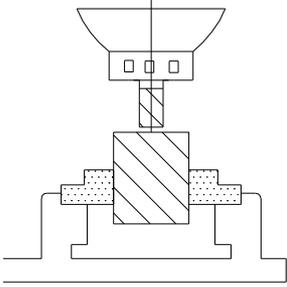
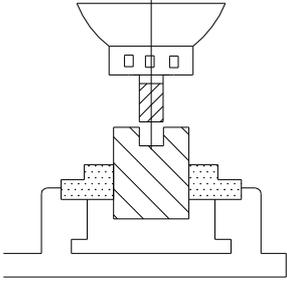
Numero de piezas:	1	<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>ALMA DE DOBLES</b>	Fecha:	19/09/2008
Escala:	1:1		Nombre:	JUAN TACO JULIO QUINGA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA			Lámina N°:	03
E.P.N				

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
2	<p>2.5 Cortar Eje</p> <p>Tronzar</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		.CUCHILLA SIERRA  PIE DE REY	47	Manual	100	20'
Numero de piezas:	1						
Escala:	1:1		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>ALMA DE DOBLES</b>				Fecha: 19/09/2008
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA							Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA
E.P.N							Lámina N°:03

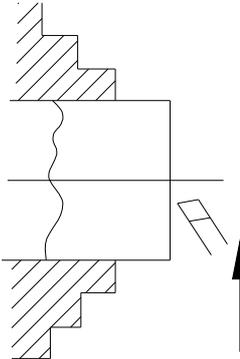
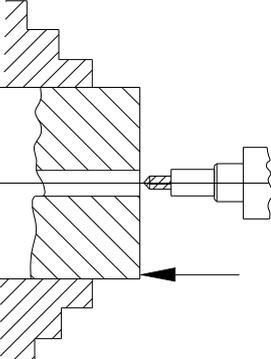
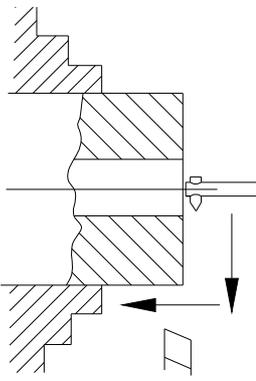


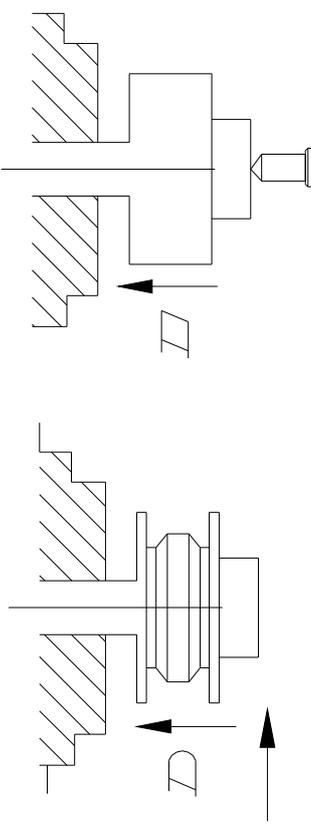
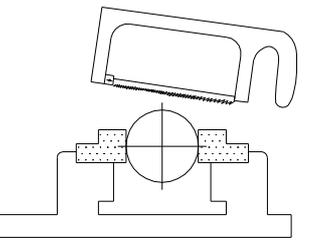
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)	
1	CORTAR EJE L = 232		Sierra Entenalla PIE DE REY				5'	
2	2.1 Refrentar		.TORNO .CUCHI LLA HSS  PIE DE REY	56.5	Manual	360	6'	
	2.2 Realizar centros			13	Manual	1000	5'	
	2.3 Cilindrar Ø 25			30	0.03	612	10'	
Numero de piezas:		1						
Escala:		1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>EJE PRINCIPAL ROSCADO</b>			Fecha:	19/09/2008
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		E.P.N					Nombre:	JUAN TACO JULIO QUINGA
							Lámina N°:	04

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
2	2.4 Cilindrar $\varnothing 22$ y $\varnothing 16.6$		.TORNO .CUCI LLA HSS	30	0.03	435	15'
	2.5 Roscar M22 paso 2		.TORNO .CUCI LLA HSS	15	2	215	20'
3	3.1 Trazar centros 3.2 Trazar linea de referencia 3.3 Granetear en centros ya trazados  Medidas ver en el plano		MESA PIE DE REY RAYA DOR GRANE TE MARTI LLO				5'
4	4.1 Taladrar broca de centros		ENTE NALLA				
	4.2 Taladrar broca $\varnothing 10$ el diametro $\varnothing 21$		TALADRO DE BANCO	15	0.04	484	10'
	4.3 Taladrar broca $\varnothing 6.5$ el diametro $\varnothing 24.4$		BROCAS HSS HASTA $\varnothing 37$	15	0.04	750	5'
Numero de piezas:		1					
Escala:		1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>EJE PRINCIPAL ROSCADO</b>			
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		E.P.N					
				Fecha:		19/09/2008	
				Nombre:		JUAN TACO JULIO QUINGA	
				Lámina N°:04			

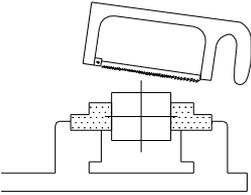
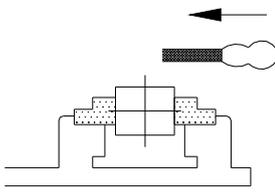
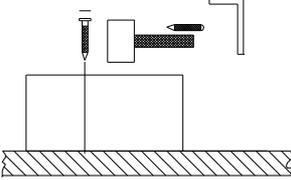
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	CORTAR EJE RECTANGULAR L=222		.ENTE NALLA SIERRA VAIVEN PIE DE REY				10'
2	2.1 Fresar perimetro		ENTE NALLA FRESA PIE DE REY ACEITE	20	0.04	318	30'
	2.2 Fresar ranura			20	0.04	318	40'
	2.3 Fresar ranura de gia de doblez						
Medidas ver en el plano							
Numero de piezas:		2					
Escala:		FASES DE TRABAJO				Fecha:	
1:2						19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre:	
E.P.N		GUIA DE DOBLEZ 3/4" Y 1"				JUAN TACO JULIO QUINGA	
						Lámina N°: 05	

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	CORTAR EJE Ø25 L =115		.ENTE NALLA  SIERRA				10'
2	2.1 Refrentar		.TORNO  .CUCHI LLA HSS  .BRO CA DE CENTROS	45.2	Manual	360	5'
	2.2 Realizar centros			13	Manual	1000	10'
	2.3 Cilindrar Ø19, L=90			20	0.04	333	20'
	2.4 Realizar chaflan 2x45°			22	Manual	350	2'
	2.5 Cilindrar Ø24, L=23			20	Manual	263	20'
	2.6 Realizar ranuras Ø22x2			20	Manual	263	2'
	2.7 Realizar cono 2x45°			20	0.2	263	5'
	Numero de piezas:			1			
Escala:		1:2		FASES DE TRABAJO		Fecha: 19/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		EJE GIRATORIO				Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N°:07	

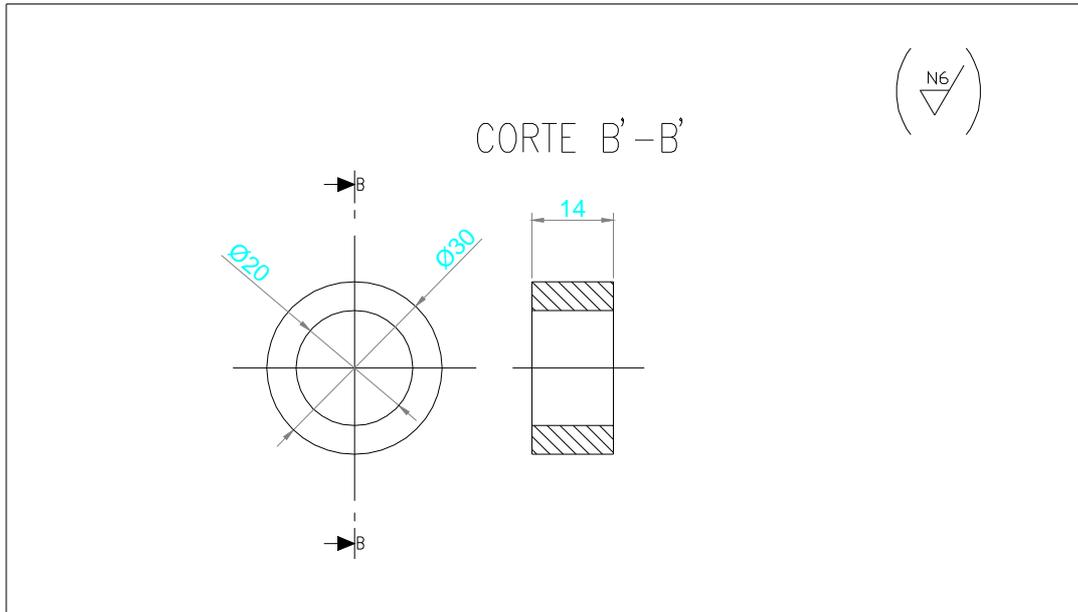
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	1.1 Refrentar		TORNO CUCHILLAS HSS PARA INTERIORES PIE DE REY				
	1.2 Realizar centros			45	Manual	360	15'
				13	Manual	1000	10'
	1.3 Perforar con broca 20 mm			15	Manual	238	15'
Escala: 1:2	FASES DE TRABAJO			Fecha: 19/09/2008			
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA	MATRIZ DE 3/4			Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA			
E.P.N				Lámina N°: 8			

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	<p>1.4 Cilindrad el diámetro exterior con un eje para cilindrar</p> <p>1.5 Ranurar la forma circular</p>		<p>TORNO CUCHILLAS HSS PARA INTERIORES PIE DE REY</p>	50.8	0.04	180	25'
2	<p>CORTAR EJE EN LA MITAD DEL DIAMETRO</p> <p>Medidas ver en el plano</p>		<p>VENTANILLA SIERRA PIE DE REY</p>				30'
<p>Escala: 1:1</p>		<p>FASES DE TRABAJO</p>			<p>Fecha: 19/09/2008</p>		
<p>PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA</p>		<p>MATRIZ DE 3/4</p>			<p>Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA</p>		
<p>E.P.N</p>					<p>Lámina N°: 8</p>		



		( N7 / )							
									
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)		
1	CORTAR PLATINA e= 12 L = 242		Sierra Entenalla				5'		
2	Limar Area cortada				Manual		5'		
					Manual		5'		
3	3.1 Trazar centros de simetria 3.2 Trazar linea de referencia 3.3 Granetear en centros ya trazados  Medidas ver en el plano		MESA ESCUADRA RAYADOR GRANETE MARTILLO PIE DE REY				5'		
Numero de piezas:		5							
Escala:		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>PLATINA</b>				Fecha:		11/09/2008	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre:		JUAN TACO JULIO QUINGA	
E.P.N						Lámina N°:		08	

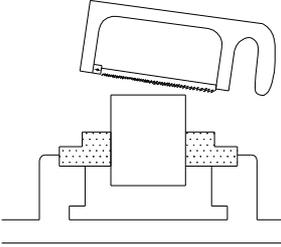
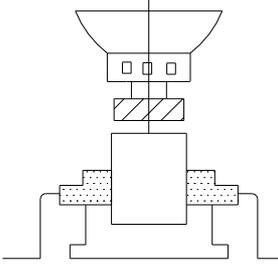
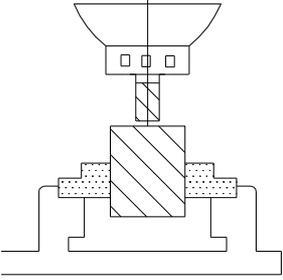
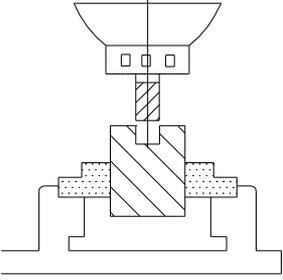
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
4	4.1 Señalar con Broca de centros		ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø20	13	0.04	1000	3'
	4.2 Taladrar hasta Ø20			15	0.03	238	5'
Numero de piezas:		5					
Escala:		1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>PLATINA</b>		Fecha:	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA		E.P.N				19/09/2008	
E.P.N						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA	
						Lámina N°-08	

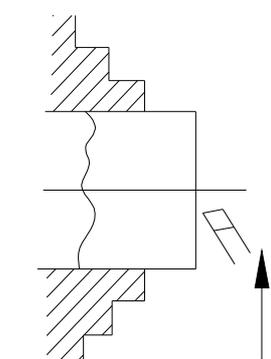
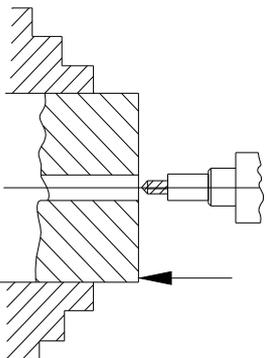
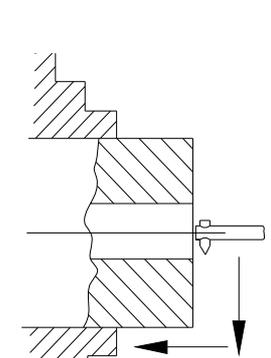


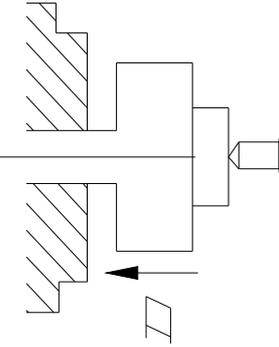
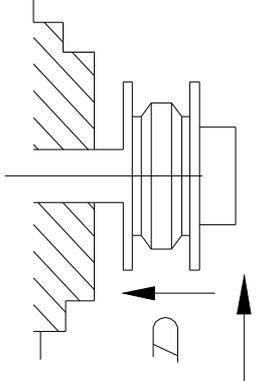
FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	1.1 Refrentar		.TORNO				
	1.2 Realizar centros		.CUCHILLA HSS	45	0.1	360	10'
			.BROCA Ø6	13	Manual	1000	10'
			.BROCA MAS GRANDE EXISTENTE				
			.PIE DE REY				
	Medidas ver en el plano						

Numero de piezas:	1	<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>BOSIN</b>	Fecha:	11/09/2008
Escala:	1:1		Nombre:	JUAN TACO JULIO QUINGA
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA			Lámina N°:	08
E.P.N				

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	1.3 Perforar hasta llegar a la broca mas grande existente			Varia segun broca	Manual	180	40'
	1.4 Cilindrar interior Ø20		.TORNO	15	Manual	238	15'
	1.5 Cilindrar Exterior Ø30		.CUCHILLAS HSS PARA INTERIORES	25	Manual	385	10'
	1.6 Cortar Eje		PIE DE REY	30	Manual	120	20'
	Tronzar						
Numero de piezas:		1					
Escala: 1:1		FASES DE TRABAJO  BOSIN			Fecha: 19/09/2008		
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA					Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA		
E.P.N					Lámina N°:08		

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	CORTAR EJE RECTANGULAR L=52		ENTE NALLA SIERRA VAIVEN PIE DE REY				10'
2	2.1 Fresar perimetro		ENTE NALLA FRESA PIE DE REY ACEITE	20	0.04	318	30'
	2.2 Fresar ranura de 21mm			20	0.04	318	40'
	2.3 Fresar ranura de gia de doblez						
Medidas ver en el plano							
Numero de piezas:	2						
Escala:	1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>POSTIZOS 3/4" Y 1"</b>				Fecha: 19/09/2008
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA							Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA
E.P.N							Lámina N°: 08

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
1	1.1 Refrentar		TORNOS CUCHILLAS HSS PARA INTERIORES PIEDE REY	45	Manual	360	15'
	1.2 Realizar centros			13	Manual	1000	10'
	1.3 Perforar con broca 20 mm			20	Manual	238	15'
Numero de piezas:		2					
Escala:		1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>MATRIZ DE 25,4mm</b>		Fecha:	
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						19/09/2008	
E.P.N						Nombre:	
				JUAN TACO JULIO QUINGA		Lámina N-09	

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)	
1	1.4 Cilindrar el diámetro exterior con un eje para cilindrar		PIE DE REY TORNO CUCHILLAS HSS PARA INTERIORES	50.8	0.2	180	25'	
	1.5 Ranurar la forma circular			50.8	0.2	180	30'	
Numero de piezas:		2						
Escala: 1:2		<b>FASES DE TRABAJO</b>  <b>MATRIZ DE 25,4mm</b>				Fecha: 19/09/2008		
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA						Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA		
E.P.N						Lámina N°:09		

FASE	DENOMINACION OPERACIONES	ESQUEMA	Utiles y Herr	V = (m/min)	S = (mm/rev)	r.p.m.	t (min)
2	2.1 Fresar la ranura horizontalmente		ENTE NALLA	20	0.04	318	40'
	2.2 Fresar la ranura verticalmente		FRESA				
	2.3 Trazar centros de simetria		PIE DE REY				
	2.4 Trazar linea de referencia		ACEITE				
	2.5 Granetear en centros ya trazados		MESA	20	0.04	318	20'
	2.6 Taladrar broca Ø 10 y Ø 6		ESCUADRA RAYADOR GRANETE MARTILLO				
			PIE DE REY	15	0.04	790	10'
			ENTE NALLA TALADRO DE BANCO BROCAS HSS HASTA Ø6 y Ø10	15	0.04	468	15'
3	3.1 Roscar a mano con machuelo M12 y M8		.BANDEADOR .ESCUADRA .ACEITE ENTE NALLA				20'
	Medidas ver en el plano						
Numero de piezas:		2					
Escala:		1:2		FESES DE TRABAJO			
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA				MATRIZ DE 25,4mm			
E.P.N				Fecha: 19/09/2008			
				Nombre: JUAN TACO JULIO QUINGA			
				Lámina N°.09			

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 FUNCIONAMIENTO DE LA DOBLADORA DE TUBOS**

Las pruebas servirán para comprobar el correcto funcionamiento de todos los elementos mecánicos que constituyen el prototipo mecánico. Se debe tener una verificación visual y funcional de todas las partes es importante por seguridad, se tomará en cuenta el correcto montaje y ajuste de todos los componentes del prototipo, lubricación, entre otras.

Antes de comenzar a realizar las operaciones de doblado, el operario debe cerciorarse que todos los elementos mecánicos estén correctamente acoplados y los mismos estén en buenas condiciones de funcionamiento.

#### **4.2 SEGURIDAD EN LA MÁQUINA DOBLADORA**

- No realizar el proceso de doblado si la máquina no esta correctamente acoplada.
- Asegurarse que la matriz queden bien ajustada en el banco de trabajo (entenalla), para proceder a montar el brazo de giro con todos los elementos del mismo.
- Verificar que todos los elementos de la máquina estén acoplados correctamente para tener un buen funcionamiento.
- Lubricar la superficie interna de los elementos mecánicos que estarán en contacto con el tubo a doblar (matriz dobladora, guía de doblez, etc.).

- Colocar de manera correcta el tubo a doblar y proceder a ajustar al mismo con la brida de sujeción.
- Verificar que el tubo este correctamente acoplado en el eje palanca de la máquina para proceder a realizar el proceso de doblado.
- Apoyar las manos de manera adecuada en el tubo palanca, y proceder a aplicar la fuerza constante adecuada y necesaria para tener éxito en el proceso de doblado.
- No manipular la máquina si no se conoce su funcionamiento.

### **4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

El dimensionamiento y la construcción de un elemento en teoría defiere de la practica, por eso es importante realizar las pruebas con el propósito de obtener resultados y de acuerdo a los requerimientos. Una vez realizado el montaje de todos los elementos mecánicos de la máquina dobladora de tubos cuadrados se realizaron las siguientes operaciones las mismas que solo se utilizará para doblar tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.) y 25mm (1pulg.) de 1 a 2mm de espesor. Debido a que el presente proyecto sólo contempla la construcción de la máquina para doblar tubo cuadrado de Acero.

Las pruebas son muy importantes para determinar las ventajas y desventajas de la construcción de la máquina dobladora. Para verificar el correcto funcionamiento del prototipo se procedió a realizar el proceso de doblado utilizando pedazos de tubos cuadrados de diferente longitud y espesores como se explica a continuación:

Se procedió a realizar las pruebas de doblado utilizando la matriz correspondiente para cada tubo, con los siguientes tubos cuadrados: tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.), tubo cuadrado de 25 mm (1 pulg.). De diferentes espesores (fig.4.1).

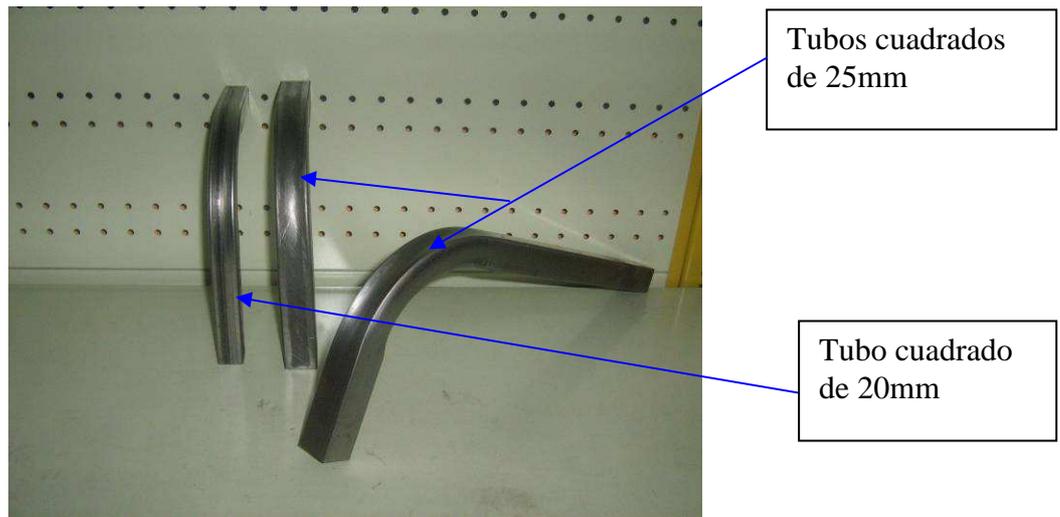


Figura 4.1 Tubos cuadrados doblados

#### 4.3.1 Prueba N° 1

Esta prueba se realizó utilizando la matriz de 20mm (3/4 pulg.) y la guía correspondiente. En el proceso de doblado utilizando tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.), espesor 1.1mm (figura 4.2), se puede observar después del proceso de doblado, que se tiene las superficies del tubo a nivel y de buena calidad, las mismas que están en contacto con la matriz y guía, los mismos que fueron verificados con un nivel pequeño común y corriente.



Figura 4.2 Tubo cuadrado de 20mm (3/4pulg)

También se puede observar claramente que se tiene una excelente superficie externa de doblado, la misma que presenta una rigidez y dureza de buena calidad (fig.4.3).

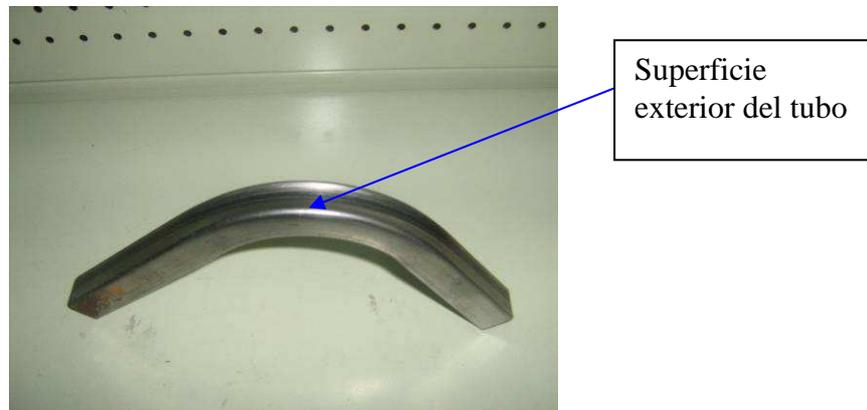


Figura 4.3 Superficie externa del tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.) doblado

En estas pruebas se pudo observar claramente que todo depende del espesor y dureza del material, para que este no permita en el instante del proceso de doblado que la superficie interna del tubo, sometida a compresión que esta en contacto con la matriz de doblado con la ranura no tenga un hundimiento hacia adentro exagerado, si no que el mismo sea mínimo. En el caso de este tubo la superficie interna presenta un hundimiento de 4.4mm (fig.4.4).

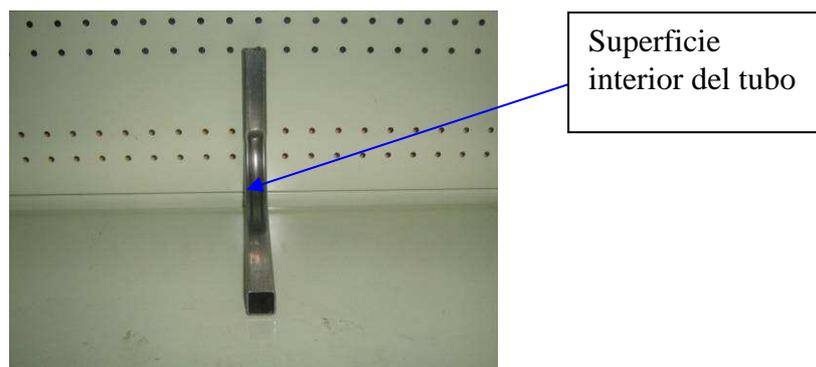


Figura 4.4 Superficie interna del tubo cuadrado de 20mm (3/4 pulg.) doblado

Esto se pudo observar ya que con la misma matriz se realizó la prueba con el tubo cuadrado negro de 20mm (3/4 pulg.) de espesor de 1.8mm, el mismo que

después del proceso de doblado presenta un terminado excelente y de buena calidad (fig.4.5).



Figura 4.5 Superficie externa del tubo de 20mm de espesor 1.8mm.

Además el mismo claramente indica que la parte interna que está sometida a compresión tiene un hundimiento considerable hacia adentro en este caso de 3.4mm dándole un excelente acabado (fig.4.6).



Figura 4.6 Superficie interna del tubo de 20mm espesor 1.8mm.

#### 4.3.2 Prueba N° 2

Esta prueba se realizó utilizando la matriz de 25mm (1 pulg) y la guía de doblez correspondiente. En el proceso de doblado utilizando tubo cuadrado de 25mm (1 pulg.), de espesor 1.2mm (figura 4.7), se puede observar después del proceso de doblado, que se tiene las superficies del tubo a nivel, las mismas

que están en contacto con la matriz y guía, los mismos que fueron verificados con un nivel pequeño común y corriente.



Figura 4.7 Tubo cuadrado doblado de 25mm (1pulg)

También se puede observar claramente que se tiene una excelente superficie externa de doblado, la misma que presenta una rigidez y dureza de buena calidad (fig.4.8).

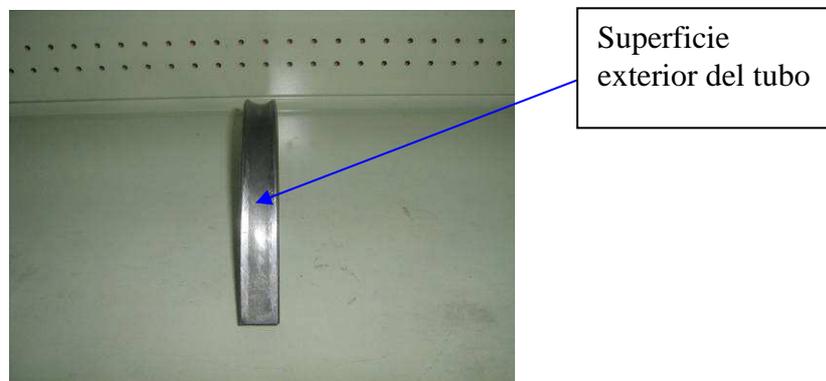


Figura 4.8 Superficie externa del tubo cuadrado de 25mm (1pulg)

De igual manera se procedió a probar y verificar el estado de la superficie interna que se encuentra sometida a compresión del material después de la prueba realiza, en el mismo que se observo que dicha superficie que esta en contacto con la ranura después del proceso tiene un hundimiento de 4.8mm (fig.4.9).

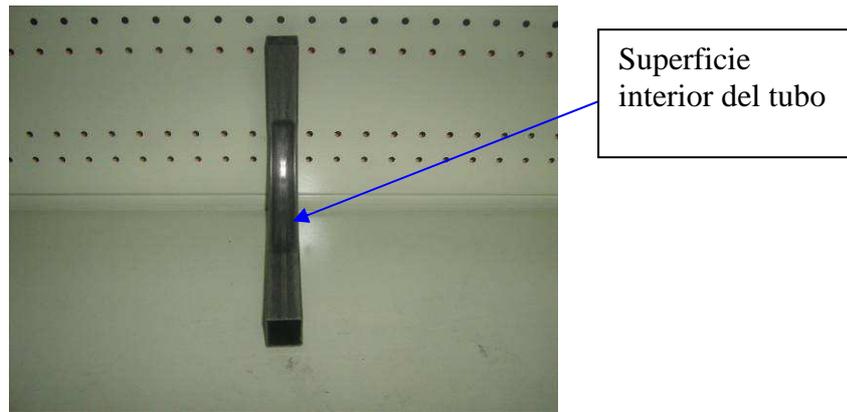


Figura 4.9 Superficie interna del tubo cuadrado de 25mm (1pulg)

### 4.3.3 Prueba N° 3

Con la misma matriz de 25mm (1pulg) y guía correspondiente se realizó otra prueba utilizando tubo cuadrado de 25mm de espesor de 0.9mm, y se pudo observar que si se logró doblar el material y que el mismo en el proceso no presentó rotura (fig.4.10). Demostrando así que esto no estaba previsto en el proyecto y de acuerdo a los resultados esperados y por pruebas realizadas con la máquina se logró doblar este material de menos espesor ya que nuestro proyecto se realizó para doblar tubos cuadrados de 1 a 2mm de espesor.



Figura 4.10 Tubo cuadrado de 20mm espesor 0.9mm doblado

Igualmente se procedió a la verificación del tubo después del proceso como indican las siguientes figuras, 4.11, 4.12 y 4.13.



Figura 4.11 Tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm (1pulg)

Se pudo observar los mismos resultados con una variación de la superficie interna que esta en contacto con la ranura, la misma que presenta un hundimiento hacia adentro de 6.6mm (fig.4.12), el mismo que con las pruebas realizadas, es aceptable en locales y centros de distribución de muebles metálicos que utilizan tubería cuadrada para la fabricación de los mismos.



Figura 4.12 Superficie interna del tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm



Figura 4.13 Superficie externa tubo cuadrado de 0.9mm de espesor de 25mm

#### 4.4 TUBOS CUADRADOS DOBLADOS DESPUÉS DE LA PRUEBA



Figura 4.14 Pruebas realizadas

Después de haber realizado las pruebas correspondientes se observó que las piezas obtenidas en las matrices de doblez para tubo cuadrado de Acero presentan una aceptable calidad superficial de doblado.

Siendo necesarios realizar el cálculo de esfuerzos y cargas presentes en el prototipo de doblado para calcular la fuerza necesaria que se aplica por el operario para obtener dicho proceso que es visible en la probeta de doblado. El mismo que se realizó utilizando la matriz de 20mm (3/4 de pulg.), tubo cuadrado de 20mm con un espesor de 1.1mm y una longitud inicial de 300mm.

## 4.5 CÁLCULO DE ESFUERZOS Y CARGAS EN EL MECANISMO DE DOBLADO

Este cálculo de esfuerzos se realizó mediante la aplicación de la física siguiendo los siguientes pasos:

- Se realiza el diagrama de cuerpo libre con las distancias que están presentes en la máquina para calcular el momento y la fuerza que se produce durante el proceso de doblado (fig. 4.15). Para lo cual se utilizó un brazo de una distancia de 100cm, la misma que se considera desde el centro del eje de giro para producir el movimiento aplicando una fuerza humana inicial de 30 kgf. Cabe explicar que la distancia 6.5 cm. es toma desde el centro del tornillo de ajuste con respecto al tubo palanca. Para encontrar el momento o torque que se realiza.
- También se calcula la fuerza total que se aplica durante el proceso  $F$ .

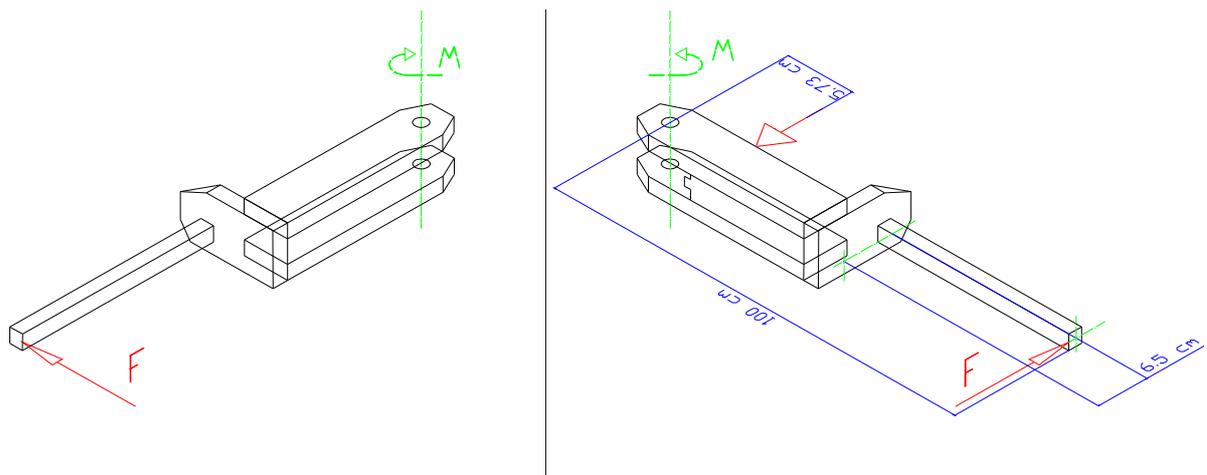


Figura 4.15 Diagrama de cuerpo libre de la dobladora.

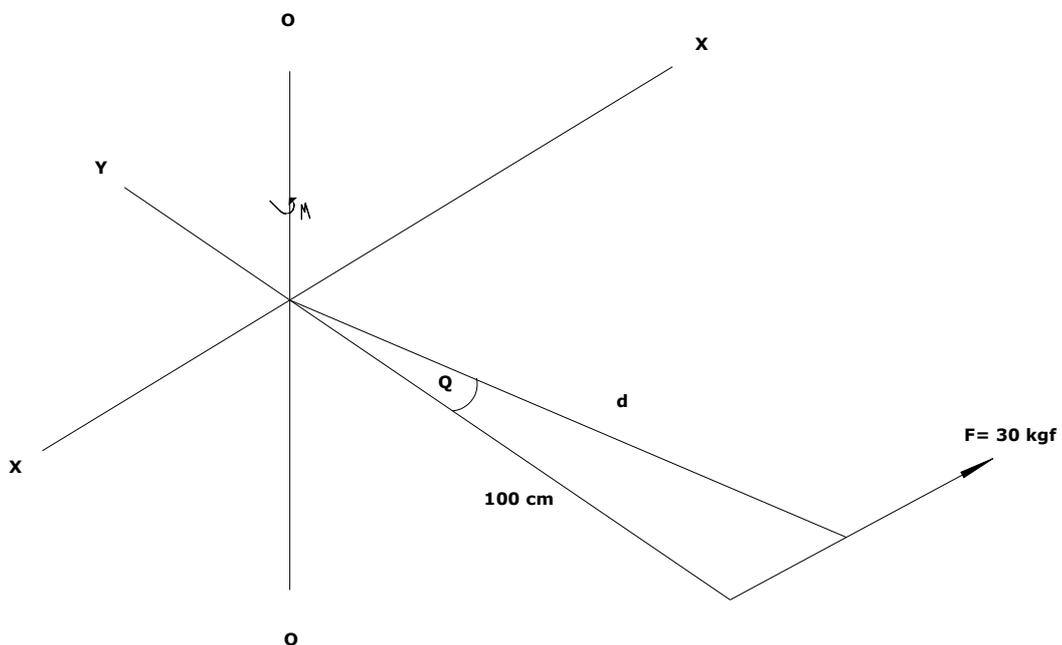
**DATOS:**

$$F = 30 \text{ Kgf}$$

$$F1 = ?$$

Mo = Momento

Para encontrar el momento o torque se realiza el siguiente diagrama:



En el diagrama de fuerzas se encuentra la longitud real del brazo mediante:

$$d = \sqrt{(6.5)^2} + \sqrt{(100)^2}$$

$$d = 100.21 \text{ cm}$$

$$M_o = F \cdot d$$

$$M_o = 30 \text{ kgf} (100.21 \text{ cm})$$

$$M_o = 3006.3 \text{ Kgf.cm}$$

La dirección de M en el plano y-x viene dada por

$$\phi = \frac{6.5}{100} \quad \phi = \arctg \frac{6.5}{100} \quad \phi = 3^{\circ}43'$$

Notación Vectorial de M

$M = r \times F$  donde  $r = \vec{OA} = 100j + 6.5i$  y  $F = 30i \text{ kgf}$

$$M = (100i + 6.5i) \times (-30i)$$

$$M = 300k + 195$$

$$\sum M_o = 0$$

$$F * d = F1 * d1$$

$$30\text{kgf}(100.21\text{cm}) = F1(5.73\text{cm})$$

$$F1 = \frac{3006.3\text{kgf/cm}}{5.73\text{cm}}$$

$$F1 = 524.65 \text{ kgf}$$

La fuerza aplicada para doblar tubo cuadrado de 20mm es 524.65 kgf. Cabe indicar que la fuerza y el tiempo que dure el proceso de doblado ira variando de acuerdo al espesor del tubo cuadrado y las propiedades que presente el mismo.

En consecuencia entre menor sea el espesor del tubo se doblara con una mínima fuerza y a un tiempo normal, mientras que si el espesor aumenta se tendrá que aplicar fuerza humana considerable. Esto se aplicara para las dos matrices y tubos que se deseen doblar con el presente proyecto.

Velocidad:

Datos obtenidos experimentalmente

Para el ensayo se utilizó un tubo cuadrado de 20mm con una longitud inicial a doblarse de 30cm.

Generalmente este se encuentra en el mercado local los tubos a una longitud de 6mts.

Se tuvo: a partir de la longitud inicial y el tiempo que dura el proceso se encuentra la velocidad durante el mismo.

$$L_o = 30 \text{ cm}$$

$t = 10 \text{ seg.}$  que se demora el tubo para ser doblado mediante un sistema manual.

$$v = \frac{l}{t}$$

$$v = \frac{30\text{cm} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}}}{10\text{s}}$$

$$v = 0.03\text{mts} / \text{seg}$$

Velocidad angular en F

$$w = \frac{v}{r}$$

$$w = \frac{0.03\text{m} / \text{seg}}{1\text{m}}$$

$$w = 0.03\text{rad} / \text{seg}$$

Para saber la velocidad a la cual se deforma el tubo cuadrado se tiene:

$w_1 = w$  las velocidades angulares son iguales

$$\frac{v_1}{r_1} = \frac{v}{r}$$

$$\frac{v_1}{0.057\text{m}} = \frac{0.03\text{m} / \text{seg}}{1\text{m}}$$

$$v1 = \frac{0.03m/s * (0.057m)}{1m} \quad v1 = 0.00171mts / seg$$

Calculo de la Tensión Cortante en el eje de jiro principal del mecanismo de doblado

Donde:

$\tau$  = Tensión cortante

P = carga cortante

A = El Área de la sección (en este caso circular)

P = 3000 Kgf

Área de la sección

$$A = \frac{3.1416(D)^2}{4}$$

$$A = \frac{3.1416(1.88)^2}{4}$$

$$A = 2.775cm^2$$

Tensión Cortante:

$$T = \frac{P/2}{A}$$

$$T = \frac{1500kgf}{2.775cm^2} = 540kgf / cm^2$$

#### **4.6 CALCULOS DE PARAMETROS DEL TUBO CUADRADO DE 20mm.**

Para el cálculo de los parámetros del tubo cuadrado de 20mm se utilizó las formulas que se encuentran en el Anexo II. (fig.4.16)

- Calculo del área de la sección transversal del tubo  $cm^2$

$$H = 2 cm. ; h = 1.72 cm.$$

$$A = H^2 - h^2$$

$$A = (2cm)^2 - (1.72)^2 \quad A = 1.0416 cm^2$$

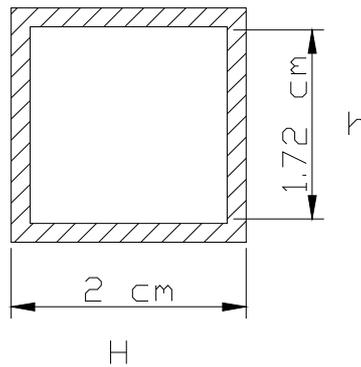


Figura 4.16 Tubo cuadrado de 20mm

- Calculo del momento de inercia de la sección  $cm^4$

$$H = 2 \text{ cm. ; } h = 1.72 \text{ cm.}$$

$$I_{xG} = \frac{H^4 - h^4}{12}$$

$$I_{xG} = \frac{(2)^4 - (1.72)^4}{12}$$

$$I_{xG} = 0.604 \text{ cm}^4$$

Calculo del modulo resistente de la sección  $cm^3$

$$H = 2 \text{ cm. ; } h = 1.72 \text{ cm.}$$

$$W_f = \frac{H^4 - h^4}{6 * H}$$

$$W_f = \frac{(2 \text{ cm})^4 - (1.72 \text{ cm})^4}{6 * 2 \text{ cm}}$$

$$W_f = 0.604 \text{ cm}^3$$

Calculo de Momento Limite en el Tubo cuadrado de 20mm

a = ancho

e = espesor

MI = Momento Limite

Sy = Limite de Fluencia

Z = Modulo Plástico (sección)

$I_xG =$  Momento de Inercia

Datos:

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$e = 1.5 \text{ mm}$$

$$S_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Calculo de la distancia neutra

$$C = \frac{B}{2}$$

$$C = \frac{2\text{cm}}{2} = 1\text{cm}$$

$$Z = \frac{I}{C}$$

Para un tubo cuadrado el módulo de sección (Z) es:

$$Z = \frac{H^4 - h^4}{12}$$

$$Z = \frac{(2)^4 - (1.72)^4}{12}$$

$$Z = 0.6039\text{cm}^4$$

Mientras que para el Momento Limite es:

$$Ml = Z * S_y$$

$$Ml = 0.603\text{cm}^4 * 2400\text{Kg} / \text{cm}^2$$

$$Ml = 1447.2\text{Kg} / \text{cm}^2$$

El momento límite es el momento aplicado al tubo durante el proceso de doblado en el cual ha alcanzado el momento plástico y consecuentemente a partir de este valor aparecen deformaciones plásticas permanentes.

## CONCLUSIONES

Una vez terminado el presente proyecto se concluye lo siguiente:

La máquina dobladora de tubos cuadrados es de gran ayuda para la industria metalmeccánica del país en cuanto a la fabricación de mueblería, etc.; en los que se utiliza tubería cuadrada.

Al finalizar el mecanizado de las matrices es importante tomar en cuenta que mientras mejor se le de el acabado superficial de las mismas las piezas a doblar en dichas matrices serán de mejor calidad.

Luego de las pruebas y los resultados obtenidos se concluye que la máquina permite realizar dobleces en tubos cuadrados de pared delgada, los mismos que presentan una aceptable calidad superficial, convirtiéndose en un proceso de fabricación versátil y con facilidad de operación.

Con las investigaciones realizadas y sobre todo la manera empírica, se logró cumplir con el objetivo principal de construir y desarrollar una máquina dobladora manual de tubos cuadrados de 20mm y 25mm, espesor de 1 a 2mm.

La principal dificultad en el doblado de tubos se debe al flujo de material en la zona que se encuentra a compresión, debido a que el material no puede fluir libremente y se presentan defectos (pliegues, arrugas, etc) en dicha zona. Esto se soluciona en la práctica para doblar tubo cuadrado realizando una ranura interna en la matriz de espesores aceptables, la misma obliga a desaparecer los pliegues o arrugas en el instante del doblado.

Esta máquina permite doblar tubos cuadrados en frío sin el uso de mandriles o algún tipo de relleno.

Se observó que la parte externa del tubo sometida a tracción después del proceso de doblado por medio de las matrices realizadas quedan rígidas y compactas.

La tubería doblada se puede considerar de buena calidad en su presentación una vez terminado el proceso de doblado; lo que permitirá a la industria nacional ser más competitiva.

## **RECOMENDACIONES**

Para la correcta operación de la máquina es importante tener en cuenta ciertos aspectos para una mejor vida útil de la máquina de doblado de tubos cuadrados.

Verificar el correcto montaje de todos los elementos y mecanismos de la dobladora antes de realizar el proceso de doblado.

Capacitar al operario en cuanto al correcto manejo y montaje de la dobladora para tener un correcto funcionamiento de la misma y la seguridad que involucra el proceso de doblado.

La operación de la máquina es manual, siendo necesaria al menos una persona para que realice el proceso de doblado, por consiguiente la capacidad del esfuerzo para el doblado depende de la que aplique una persona normal durante el proceso.

El lugar donde funcione la máquina debe disponer de un espacio considerado para realizar las pruebas necesarias.

Por la forma de operar la máquina, las dimensiones y la ubicación de los elementos a ser maniobrados deberán adaptarse a las proporciones del cuerpo

humano de manera que no se presenten inconvenientes para trabajar en ella y tener en cuenta la seguridad tanto humana como industrial.

La profundidad del acanalado del  $\frac{1}{3}$  del área del tubo cuadrado en las matrices es con objeto a tener una mayor facilidad de desmontaje, para realizar un doblado rápido y eficaz.

La ranura interna de las matrices, permiten la eliminación de arrugas o pliegues en el proceso de doblado del tubo cuadrado.

Es necesario lubricar la matriz y la guía de doblez para permitir un deslizamiento adecuado entre tubo matriz.

## BIBLIOGRAFIA

- ABB, *Prácticas Elementales para el Trabajo de los Metales a Doblar*.
- CÁRDENAS (1985), *Introducción al Conformado Mecánico*. EPN.
- CONDUIT, (2004), *Catálogo general de Productos*.
- DON BOSCO, (1999), *Curso Básico de Matricería*. ITS, Folleto.
- DON BOSCO, (1999), *Fundamentos Técnicos de Mecánica*.
- DON BOSCO, *Dibujo Técnico Mecánico*. Segunda Edición.
- DOYLE LAWRENCE. E, *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*. Tercera Edición. México.
- GROOVER Mikell P, *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México.
- HAMROCK Bernard J., Bab. Jacobson (2000). *Elementos de Maquinas*.
- HANDLEY, William. (1981). *Manual de Seguridad Industrial*, Mc Graw Hill. Latinoamérica
- HEARN E. J. (1997). *Resistencia de Materiales, Diseño de Estructuras y Maquinas*. Madrid.
- HENRY. D. Burghardt (1965). *Manejo de las Máquinas Herramientas*. Edición Cuarta, Editorial Madrid España.
- INEN, (1987), *Código de Dibujo Técnico Mecánico*. Quito – Ecuador.
- IPAC, (1996), *Catálogo general de Tubería*.
- KASANAS, H.C. *Procesos Básicos de Manufactura*. EPN.
- LEYENSETTER, A (1984), *Tecnología de los oficios Metalúrgicos*. Editorial Reverte Barcelona.
- LARBURO, Nicolás, (1995) *Prontuario de Máquinas*. Séptima Edición.
- METALS HANDBOOK. *American society for Metals*. Edición Vol. 5 "Forging and Casting. México.

- NORTON Robert L. (1999). *Diseño de Maquinas*: Ediciones, México
- NOVACERO, *Catálogo general de Productos de la empresa*. Edición 3.
- ROBERT C. Juvanill (1993). *Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica*. México.
- SCHEY John A, *Procesos de Manufactura*. Tercera Edición, México.
- SHIGLEY Joseph E. (2002). *Diseño de Maquinas Herramientas*, Edición sexta. Editorial Mexicana.
- STIOPIN P, A. (1979), *Resistencia de Materiales*, Editorial MIR.
  
- **INTERNET**
- [www.conduit.com](http://www.conduit.com)
- [www.dipac.com](http://www.dipac.com)
- [www.ipac.acero.com](http://www.ipac.acero.com)
- [www.medfordtools.com/benders/bendermanual/page4.html](http://www.medfordtools.com/benders/bendermanual/page4.html)
- [www.metal-n-more.com](http://www.metal-n-more.com)
- [www.mittlerbros.com/tube\\_bending\\_accessories.htm](http://www.mittlerbros.com/tube_bending_accessories.htm)
- [www.novacero.com](http://www.novacero.com)
- [www.thefabricator.com/TubePipeFabrication](http://www.thefabricator.com/TubePipeFabrication)

***ANEXO I***  
***SIMBOLOGIA Y***  
***ABREVIATURAS***

## SIMBOLOGIA Y ABREVIATURAS

AISI = American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de Acero y Hierro Fundido).

ASTM = American society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y materials).

$\sigma$  = Esfuerzo

P = Fuerza aplicada a la probeta

A = Sección de la probeta

$\epsilon$  = Deformación

L = Longitud final de la probeta después del doblado

Lo = Longitud inicial de la probeta

$M_L$  = Momento limite

$S_y$  = Limite de fluencia del material

Z = Modulo plástico de la sección

D = diámetro exterior del tubo redondo

d = diámetro interior del tubo redondo

$D_m^2$  = diámetro medio

E = espesor del material

$M_f$  = Momento flector.

F = Fuerza.

L = Distancia del apoyo.

A = Área del tubo cuadrado  $\text{cm}^2$

H = Altura externa del tubo cuadrado

h = Altura interna del tubo cuadrado

I = Inercia de la sección cuadrada

C = Distancia entre el eje neutro

B = H Altura del tubo cuadrado

Z = Modulo de sección  $\text{cm}^3$  del tubo cuadrado

R = radio de giro de la sección cm

$W_F$  = Módulo de resistencia

$R_C$  = Radio de curvatura.

mm = milímetro

Pulg. = pulgada

n = número de revoluciones

R.P.M. = revoluciones por minuto

S = avance

$V_c$  = velocidad de corte

A = amperios

N = newton

***ANEXO II***

***CATALOGO DE TUBOS***

***PARAMETROS DE TUBERIA***

## CATÁLOGO DE TUBERIA

### CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Norma de Fabricación: ASTM A 366

Límite de Fluencia (mínimo)  $f_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$

Tolerancia : Diámetro +/- 0.5%

Longitud +12mm - 6mm

Longitud de entrega : 6 metros, otras longitudes bajo pedido

Acabado : Negro o Galvanizado

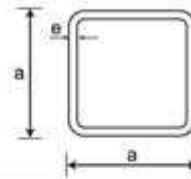
Espesor : +/- 10%, Cuadrados y Rectangulares

### 1. Tubos Redondos



DENOMINACIÓN		ESPESOR	PESO	
Diámetro Exterior (D)		e	P	P
pulg.	mm	mm	Kg/m	Kg/6m
5/8	15,88	1,50	0,55	3,28
3/4	19,05	1,50	0,67	3,99
7/8	22,22	1,50	0,79	4,73
1	25,40	1,50	0,90	5,37
		2,00	1,17	7,02
1 1/4	31,75	1,50	1,13	6,78
		2,00	1,48	8,90
1 1/2	38,10	1,50	1,37	8,20
		2,00	1,80	10,79
1 3/4	44,45	1,50	1,60	9,57
		2,00	2,13	12,76
1 7/8	47,63	1,50	1,72	10,32
		2,00	2,27	13,62
2	50,80	1,50	1,84	11,02
		2,00	2,43	14,55
		3,00	3,45	20,69
2 1/4	57,15	1,50	2,08	12,47
		2,00	2,79	16,72
2 3/8	60,50	1,50	2,24	13,42
		2,00	2,83	17,00
		3,00	4,38	26,28
2 1/2	63,50	1,50	2,34	14,04
		2,00	3,13	18,75
		3,00	4,62	27,69
3	76,20	2,00	3,68	22,42
		3,00	5,26	33,35
		4,00	7,35	44,09
3 1/2	89,10	2,00	4,37	26,19
		3,00	6,50	39,00
		4,00	8,60	51,62
4 1/2	114,30	2,00	5,59	33,53
		3,00	8,36	50,16
		4,00	11,09	66,51
5	127,00	2,00	6,22	37,30
		3,00	9,26	55,53
		4,00	12,28	73,66

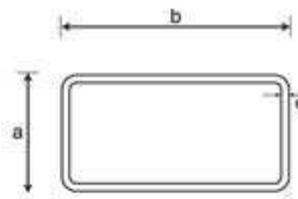
## 2. Tubos Cuadrados



DENOMINACIÓN		ESPESOR	PESO	
a		e	P	P
pulg.	mm	mm	Kg/m	Kg/6m
3/4	20	1,50	0,88	5,26
1	25	1,50	1,13	6,78
		2,00	1,48	8,90
1 1/4	30	1,50	1,37	8,20
		2,00	1,80	10,79
1 1/2	40	1,50	1,72	10,32
		2,00	2,27	13,62
		3,00	3,22	19,33
2	50	1,50	2,32	13,93
		2,00	3,13	18,75
		3,00	4,62	27,69
2 3/8	60	2,00	3,74	22,42
		3,00	5,56	33,35
3	75	2,00	4,65	27,88
		3,00	6,88	41,26
		4,00	9,11	54,64
4	100	2,00	6,22	37,30
		3,00	9,26	55,53
		4,00	12,28	73,66

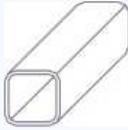
\* Las medidas en pulgadas son referenciales

## 3. Tubos Rectangulares



DENOMINACIÓN	DIMENSIONES			PESO	
	a	b	e	P	P
Pulg.	mm	mm	mm	Kg/m	Kg/6m
3/4 x 1 1/2	20	40	1,50	1,37	8,20
			2,00	1,80	10,79
1 x 2	25	50	1,50	1,72	10,32
			2,00	2,27	13,62
1 1/2 x 2 3/8	40	60	2,00	3,13	18,75
			3,00	4,62	27,69
1 1/4 x 2 3/4	30	70	2,00	3,13	18,75
			3,00	4,62	27,69
1 1/2 x 3 1/8	40	80	2,00	3,68	22,05
			3,00	5,26	31,55
1 3/4 x 3	45	75	2,00	3,74	22,42
			3,00	5,56	33,36
			4,00	7,35	44,09
2 x 4	50	100	2,00	4,63	27,79
			3,00	6,88	41,26
			4,00	9,11	54,64

## Tubo Mecánico: Cuadrado



### ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Standard: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o galvanizado  
 Dimensiones: Desde 1/2 a 2 plg  
 Espesores: Desde 0.6 a 1.5 mm  
 Calidad del Acero: JIS G 3141 SPCC-5D  
 ASTM A366  
 Observaciones: Otros largos previa consulta



### NORMA INTERNA

Tolerancia Dimensional:  
 1/2" (12 x 12) - 2 (50 x 50) 2" ± 0,30 mm  
 Variación Longitud: -0  
 +10  
 Rectitud: 0,4% de longitud (máximo)  
 Radio máximo: 3 veces el espesor

DIMENSIONES		PESO		AREA		PROPIEDADES		
Designación	B	e	P	A	EJES X-X e Y-Y			
Plg	mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	I	W	i	
					cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	
1/2	12.5	0.60	1.24	0.26	0.07	0.10	0.47	
		0.75	1.52	0.32	0.08	0.12	0.47	
		0.90	2.10	0.40	0.09	0.13	0.45	
5/8	15	0.60	1.58	0.34	0.43	0.16	0.59	
		0.75	1.95	0.41	0.16	0.19	0.58	
		0.90	2.41	0.51	0.19	0.21	0.56	
3/4	20	0.60	3.15	0.46	0.34	0.29	0.79	
		0.75	2.70	0.56	0.40	0.34	0.78	
		0.90	2.41	0.51	0.19	0.21	0.56	
3/4	20	0.60	3.15	0.46	0.34	0.29	0.79	
		0.75	2.70	0.56	0.40	0.34	0.78	
		0.90	3.24					

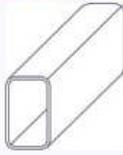
**APLICACIONES**

- Muebles Metálicos en general
- Cerrajería (rejjas, puertas, etc)
- Divisiones Modulares
- Pasamanos
- Cerramientos para viviendas
- Fabricación de remolques
- Estanterías
- Parantes de repisas

### NOMENCLATURA

**A**= Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>      **W**= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>

## Tubo Mecánico: Rectangular



### ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Standard: 6 m  
 Recubrimiento: negro o galvanizado  
 Dimensiones: (3/8 x 3/4) a (1 1/4 x 2) plg  
 (10 x 20) a (30 x 50) mm  
 Espesores: Desde 0.75 a 1.5 mm  
 Calidad del Acero: JIS G 3141 SPCC 5D  
 ASTM A366  
 Observaciones: Otros largos previa consulta



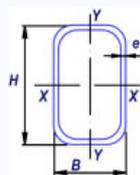
### NORMA INTERNA

Desde: (3/8 x 3/4) a (1 1/4 x 2)  
 (10 x 20) a (30 x 50)  
 Tolerancias: a ± 0,30 mm  
 b ± 0,40 mm  
 Variación Longitud: -0  
 +10  
 Rectitud: 0,4% de longitud (máximo)  
 Radio máximo: 3 veces el espesor

DESIGNACION	DIMENSIONES			PESO	PROPIEDADES						
	B	H	e		P	AREA		EJES X-X			EJES Y-Y
Plg	mm	mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
3/8 x 3/4	10	20	0.75	1.95	0.41	0.20	0.20	0.70	0.07	0.14	0.41
			0.90	2.29	0.51	0.24	0.24	0.69	0.08	0.16	0.40
1/2 x 1	12	25	0.75	2.32	0.53	0.43	0.34	0.90	0.13	0.22	0.50
			0.90	2.79	0.67	0.53	0.42	0.89	0.16	0.27	0.49
			1.10	3.40	0.77	0.59	0.48	0.88	0.18	0.30	0.49

### APLICACIONES

- Muebles Metálicos en general
- Cerrajería (rejas, puertas, etc)
- Divisiones Modulares
- Pasamanos
- Cerramientos para viviendas
- Fabricación de remolques
- Estanterías
- Parantes de repisas



### NOMENCLATURA

**A**= Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>  
**I**= Momento de Inercia de la sección, cm<sup>4</sup>  
**W**= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>  
**i**= Radio de giro de la sección, cm

## Tubo Mecánico: Redondo

DESIGNACION		ESPESOR	PESO	AREA		PROPIEDADES		
DIAMETRO EXTERIOR (D)		e	P	A	I	W	i	
Plg		mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2		12.70	0.60	1.12	0.23	0.04	0.07	0.43
			0.75	1.40	0.28	0.05	0.08	0.42
			0.90	1.60	0.35	0.06	0.09	0.41
			1.10	1.93	0.40	0.07	0.11	0.41
			1.50					



### ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Standard: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o galvanizado  
 Dimensiones: Desde 1/2 a 2 1/2 plg  
 Espesores: Desde 0.6 a 1.5 mm  
 Calidad del Acero: JIS G 3141 SPCC-SD  
 ASTM A366  
 Observaciones: Otros largos previa consulta

### NORMA INTERNA

#### Tolerancias:

$\varnothing$  1/2" -  $\varnothing$  1 3/4"  $\pm$  0.50% diámetro nominal

$\varnothing$  1 7/8" -  $\varnothing$  3"  $\pm$  0.75% diámetro nominal

Variación Longitud: - 0 mm

+ 10 mm

Rectitud: 0.4% de longitud (máximo)

Ovalamiento: 1% diámetro nominal (máximo)

#### ENSAYOS

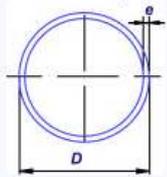
Abocardado: 25% diámetro nominal

Aplastamiento: Total

Doblado: 90° con radio interior mínimo 6 veces el diámetro nominal

### APLICACIONES

- Muebles Metálicos en general
- Plateros de cocina
- Cerrajería (rejas, puertas, etc)
- Partes y piezas productos línea blanca
- Tubos para closets
- Rieles de cortinas
- Ductos para cocinas
- Fabricación de remolques
- Tubos de escape para vehículos



### NOMENCLATURA

**A**= Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>

**W**= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>

**I**= Momento de Inercia de la sección, cm<sup>4</sup>

**i**= Radio de giro de la sección, cm

## INFORMACIÓN TUBERÍA

### CÓMO SELECCIONAR UN TUBO

DIÁMETRO NOMINAL NPS	CAÑERÍA	CONDUCTOR ELÉCTRICO	MUEBLE ESTRUCTURAL
DENOMINACIÓN	Diámetro Exterior Nominal (POSTES)	Número de Conductores (cables y su calibre)	Diámetro (Nominal-Real)
ESPECIFICACIÓN (NORMA)	Por la presión de trabajo (Cédula)	Se seleccionan por la presión (voltaje) de la línea	Se seleccionan por la resistencia mecánica (espesor e inercia)

### NÚMERO DE CONDUCTORES PERMITIDOS EN TUBOS CONDUIT

DIÁMETRO DE TUBERÍA / CALIBRE	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
16	6	9				
14	4	5	9			
12	3	5	8	9		
10	1	4	7	9		
8	1	3	4	7	9	
6	1	1	3	4	6	9

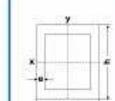
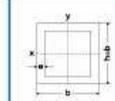
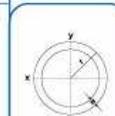
### PRESIONES DE USO RECOMENDADAS (Kg/cm<sup>2</sup>)

TIPO DE TUBERÍA / DIÁMETRO	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
ASTM CED. 40	49.31	49.31	49.31	84.54	84.54	162.00
ISO 65 L-1	49.31	49.31	49.31	49.31	49.31	49.31
ISO 65 L-2	49.31	49.31	49.31	49.31	49.31	49.31

## INFORMACIÓN TUBERÍA

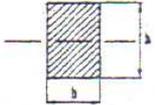
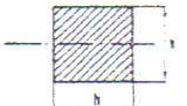
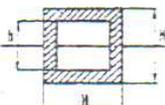
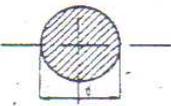
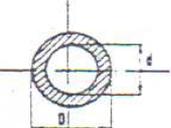
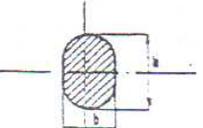
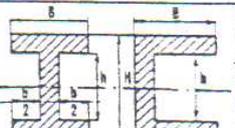
### TABLA DE PARÁMETROS ESTRUCTURALES

ESPECIFICACIONES	DIÁMETRO		ESPESOR	Área	Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry
	Nominal	(mm) Nominal	(mm) Nominal							
ISO 65 L-2	1/2	21.30	2.00	1.14	0.52	0.50	0.67			
	3/4	26.90	2.30	1.69	1.27	0.95	0.87			
	1	33.70	2.60	2.40	2.81	1.70	1.08			
	1 1/4	42.40	2.60	3.11	6.05	2.89	1.40			
	1 1/2	48.30	2.90	3.89	10.08	4.18	1.61			
	2	60.30	2.90	4.89	20.01	6.68	2.02			
	2 1/2	76.10	3.20	6.64	39.94	11.04	2.45			
	3	88.90	3.20	8.29	75.26	7.06	3.01			
	4	114.30	3.60	12.07	182.12	32.15	3.88			
MUEBLE	1 7/8	48.00	0.90	1.33	3.69	1.54	1.67			
			1.00	1.48	4.08	1.70	1.66			
			1.10	1.62	4.46	1.86	1.66			
			1.20	1.76	4.83	2.01	1.66			
			1.40	2.05	5.57	2.32	1.65			
			1.50	2.19	5.93	2.47	1.64			
			2.00	2.78	7.39	3.08	1.63			
2.30	3.17	8.32	3.47	1.62						
CUADRADO	2	50X50	1.40	2.72	10.72	4.29	1.98			
			1.50	2.91	11.42	4.57	1.98			
			1.80	3.30	12.85	5.14	1.97			
			2.00	3.89	14.25	5.70	1.96			
			2.20	4.21	16.05	6.42	1.95			
			2.80	5.14	19.23	7.69	1.93			
3.00	5.73	21.13	8.45	1.92						
RECTANGULAR	2X1	50X25	0.80	1.17	3.93	1.57	1.83	1.34	0.54	1.07
			0.90	1.32	4.39	1.76	1.83	1.49	0.60	1.07
			1.00	1.46	4.84	1.94	1.82	1.64	0.66	1.06
			1.10	1.60	5.29	2.12	1.82	1.79	0.72	1.06
			1.20	1.74	5.73	2.29	1.81	1.93	0.77	1.05
			1.40	2.02	6.59	2.64	1.81	2.21	0.88	1.04
			1.50	2.16	7.01	2.80	1.80	2.34	0.94	1.04
			2.00	2.73	8.70	3.48	1.78	2.87	1.15	1.02
3.00	4.20	12.72	5.09	1.74	4.04	1.62	0.98			

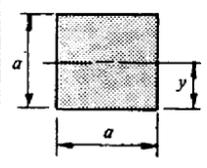
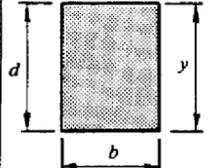
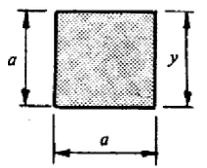
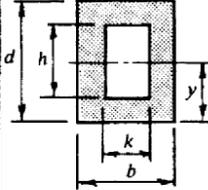
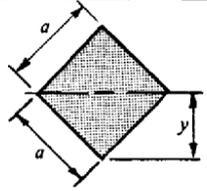
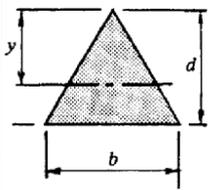
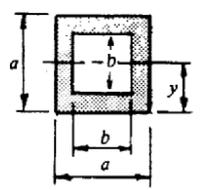
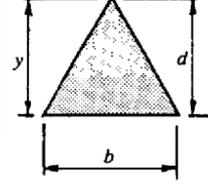
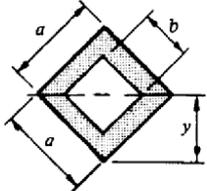
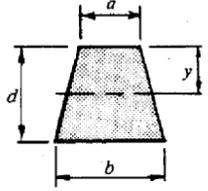
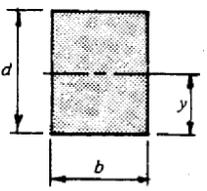
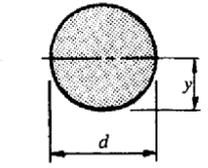


### FÓRMULA PARA CÁLCULO DE PARÁMETROS

		Área A	Inercia I	Distancia Fibra Neutra C	Módulo Sección S	Radio de Giro F
<b>TUBO REDONDO</b>	$I_x=I_y$	$\pi R^2 - \pi (R-e)^2$	$(\pi / 4) (R^4 - (R-e)^4)$	R	$I/c$	$\sqrt{I/A}$
<b>TUBO CUADRADO</b>	$I_x=I_y$	$B^2 - (B-2e)^2$	$\frac{(B^4 - (B-2e)^4)}{12.00}$	B/2	$I/c$	$\sqrt{I/A}$
<b>TUBO RECTANGULAR</b>	$I_x$	$BH - (B-2e)(H-2e)$	$\frac{(BH^3 - (B-2e)(H-2e)^3)}{12.00}$	H/2	$I/c$	$\sqrt{I/A}$
	$I_y$	$BH - (B-2e)(H-2e)$	$\frac{(B^3H - (B-2e)^3(H-2e))}{12.00}$	B/2	$I/c$	$\sqrt{I/A}$

MOMENTO DE INERCIA Y MODULOS DE RESISTENCIA A LA FLEXION			
Sección	Area	Momento de inercia J	Módulo de resistencia $W_f$
	$b \times h$	$J = \frac{b \times h^3}{12}$	$W_f = \frac{b \times h^2}{6}$
	$h^2$	$J = \frac{h^4}{12}$	$W_f = \frac{h^3}{6}$
	$H^2 - h^2$	$J = \frac{H^4 - h^4}{12}$	$W_f = \frac{H^4 - h^4}{6 \times H}$
	$\frac{\pi \times d^2}{4}$	$J = \frac{\pi \times d^4}{64} \cong 0,05 \times d^4$	$W_f = \frac{\pi \times d^3}{32} \cong 0,1 \times d^3$
	$\frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$	$J = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4) \cong 0,05 \times (D^4 - d^4)$	$W_f = \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4 - d^4}{D} \cong 0,1 \times \frac{D^4 - d^4}{D}$
	$\frac{\pi}{4} \times b \times h$	$J = \frac{\pi}{64} \times b \times h^3 \cong 0,05 \times b \times h^3$	$W_f = \frac{\pi}{32} \times b \times h^2 \cong 0,1 \times b \times h^2$
	$B \times H - b \times h$	$J = \frac{B \times H^3 - b \times h^3}{12}$	$W_f = \frac{B \times H^3 - b \times h^3}{6 \times H}$

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

SIMBOLOGIA			
$A$ = área, pulg <sup>2</sup>	$I$ = Momento de inercia, pulg <sup>4</sup>	$r$ = Radio de giro, $\sqrt{I/A}$	$y$ = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, pulg
		$Z$ = Módulo de sección, $I/y$	
	$A = a^2$ $y = \frac{1}{2} a$ $I = \frac{a^4}{12}$ $Z = \frac{a^3}{6}$ $r = 0.289 a$		$A = bd$ $y = d$ $I = \frac{bd^3}{3}$ $Z = \frac{bd^2}{3}$ $r = 0.577 d$
	$A = a^2$ $y = a$ $I = \frac{a^4}{3}$ $Z = \frac{a^3}{3}$ $r = 0.577 a$		$A = bd - hk$ $y = \frac{1}{2} d$ $I = \frac{bd^3}{12} - \frac{hk^3}{12}$ $Z = \frac{bd^3 - hk^3}{6 d}$ $r = 0.289 \sqrt{\frac{bd^3 - hk^3}{bd - hk}}$
	$A = a^2$ $y = 0.707 a$ $I = \frac{a^4}{12}$ $Z = 0.118 a^3$ $r = 0.289 a$		$A = \frac{1}{2} bd$ $y = \frac{1}{3} d$ $I = \frac{bd^3}{36}$ $Z = \frac{bd^2}{24}$ $r = 0.236 d$
	$A = a^2 - b^2$ $y = \frac{1}{2} a$ $I = \frac{a^4 - b^4}{12}$ $Z = \frac{a^4 - b^4}{6a}$ $r = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$		$A = \frac{1}{2} bd$ $y = d$ $I = \frac{bd^3}{12}$ $Z = \frac{bd^2}{12}$ $r = 0.408 d$
	$A = a^2 - b^2$ $y = 0.707 a$ $I = \frac{a^4 - b^4}{12}$ $Z = 0.118 a^3 - \frac{b^3}{a}$ $R = 0.289 \sqrt{a^2 + b^2}$		$A = \frac{d(a+b)}{2}$ $y = \frac{d(a+2b)}{3(a+b)}$ $I = \frac{d^3 (a^2 + 4ab + b^2)}{36 (a+b)}$ $Z = \frac{d^2 (a^2 + 4ab + b^2)}{12 (a+2b)}$ $r = \sqrt{I/A}$
	$A = bd$ $y = \frac{1}{2} d$ $I = \frac{bd^3}{12}$ $Z = \frac{bd^2}{6}$ $r = 0.289 d$		$A = 0.7854d^2$ $y = d/2$ $I = 0.049 d^4$ $Z = 0.098d^3$ $r = d/4$

***ANEXO III***

***ACEROS***

## TABLA DE ESPECIFICACIÓN ACERO ASTM A-36

**ASTM:** American Society for Testing Materials (Sociedad Estadounidense Para Prueba de Materiales)

<b>ASTM A-36</b>	El numero 36 que es la resistencia mínima, significa 36 kilo libras por pulgadas cuadradas (36,000 libras por pulgada cuadradas)
------------------	--

### COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO ASTM A-36

COMPONENTE	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0.26	0.2	99	0.75	Máx. 0.04	Máx. 0.05

PROPIEDADES FÍSICAS	Métrico	Ingles	Comentario
Densidad	7.85 kg/ dm <sup>3</sup>	0.284 lb/in <sup>3</sup>	
PROPIEDADES MECÁNICAS			
Fuerza tensión, última	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Fuerza tensión, rendimiento	<u>250 MPa</u>	36300 psi	
Alargamiento	20 %	20 %	en 200 mm
Módulo de Elasticidad	<u>200 GPa</u>	29000 ksi	
Fuerza compresión,	<u>152 MPa</u>	22000 psi	Fuerza de compresión aceptable

Calidad	Norma	Límite de Fluencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Alargamiento (%)	Doblado a 180°
Estructural	ASTM-A36	290	4080-5610	20	Sin fisura (**)

(\*\*) El ensayo de doblado es opcional y se realiza sobre la cara estirada.

Buena resistencia estructural, vigas soldadas, bases columnas, variedad de aplicaciones para fines de ingeniería.

## TABLA DE ESPECIFICACIONES DEL ACERO AISI

**AISI:** American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de Acero y Hierro Fundido)

ANÁLISIS QUÍMICO PROMEDIO AISI/SAE (%PESO)										
Dureza de entrega máxima; Brinell (Bn) / Rockwell C (Rc)										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	OTROS	BN/RC
ESTOS ANÁLISIS PODRAN TENER PEQUEÑAS VARIACIONES CON RESPECTO AL ANÁLISIS DE LAS OTRAS NOMENCLATURAS										
1018	0.18	0.20	0.75							200 / 14
1045	0.45	0.25	0.75							206 / 15
1060	0.60	0.25	0.75							220 / 18
12L14	0.14		1.00						0.3 S/ 0.25 Pb	200 / 14
1213	0.13 max.		0.85						0.1 P /0.28 S	200 / 14

TRATAMIENTOS TÉRMICOS (°C)			
	TEMPLADO	ENFRIAMIENTO	REVENIDO
1018	845	cementar 925	500-600
1045	820-860	aceite/agua	300-650
1060	815-850	aceite/agua	450-660

Características y Aplicaciones	
1018	Acero no aleado de cementación para uso en partes de maquinaria. acero generalmente estirado en frío, piñones, rodillos, tornillos sin fin, ejes de transmisión, pernos de dirección, pernos de cadena, catalinas, etc.
1045	Acero no aleado empleado en flechas y partes de maquinaria. adecuado para temple superficial, flechas, piñones, engranes, pernos, tornillos, semi-ejes, ejes, cigüeñales, etc.
1060	Acero para uso construcción de maquinaria. con adecuada respuesta al temple, resistencia al desgaste, discos de embrague, ejes de transmisión, portaherramientas, implementos agrícolas, etc.
12L14	Acero con adiciones de plomo con excelente maquinabilidad, empleado en tornos automáticos para alta producción (estirado en frío). bujes, acoples, conexiones de mangueras hidráulicas, tortillería, etc.
1213	Acero con adiciones de fósforo y azufre, de libre maquinado para alta producción con acabado, estirado en frío, tortillería sin requerimientos mecánicos, etc.

IVAN BOHMAN C.A.

**SAE 1018****Eje de Transmisión - Tolerancia: H9-H11**

GENERALIDADES: Acero de bajo contenido de carbono.

**ANALISIS TIPICO**

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	≤0.040	≤0.050

**PROPIEDADES MECANICAS**

Suministrado laminado en frío.

<i>Propiedad</i>	
Esfuerzo de cedencia kg/mm <sup>2</sup>	min. 49
Resistencia a la tensión, kg/mm <sup>2</sup>	min. 57
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

**APLICACIONES**

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

**MEDIDAS EN STOCK****REDONDO**

PULGADAS	PESO APROX. kg/m
3/8	0.6
1/2	1.0
5/8	1.6
3/4	2.2
7/8	3.0
1	4.0
1 1/8	5.0
1 1/4	6.2
1 3/8	7.5
1 1/2	8.9
1 3/4	12.2
2	15.9
2 1/4	20.1
2 1/2	24.8
2 3/4	30.0
3	35.8
3 1/4	42.0
3 1/2	48.7
3 3/4	55.9
4	63.6
4 1/2	80.5
5	99.4
5 1/2	120.2
6	143.1
7	200.0
8	255.0
10	397.0



## 705=AISI 4337

### Acero Bonificado para Maquinaria

**GENERALIDADES:** 705 es un acero al molibdeno, el cual tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resiste a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros alea para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma estándar suministrado bonificado por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado, para obtener durezas superficiales de 600-650 Vickers.

#### ANALISIS TIPICO

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
705	0.36	0.25	0.70	--	--	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	≤ 0.04	≤ 0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

#### EQUIVALENCIAS

<b>AISI/SAE</b>	4337
<b>DIN</b>	34CrNiMo6
<b>W.Nr</b>	1.6582
<b>JIS</b>	SNCM1
<b>AFNOR</b>	35NCD6

#### PROPIEDADES MECANICAS EN CONDICION DE SUMINISTRO

<b>Resistencia a la tracción</b>	90-110 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo de cedencia</b>	min. 685 N/mm <sup>2</sup> = 70 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Elongación, A5</b>	min 12%
<b>Reducción de área, Z</b>	min 45%
<b>Resistencia al impacto, KU</b>	aprox. 30 J
<b>Dureza</b>	270-330 HRB

#### APLICACIONES

- Partes de gran resistencia para la industria automotriz como:
  - ejes
  - cardanes
  - cigüeñales
  - ejes de leva
  - tornillería de alta resistencia
- Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:
  - Arboles para trituradoras
  - ejes de transmisión de grandes dimensiones
  - engranajes de temple
  - barras de torsión
  - mandriles
  - portaherramientas
- Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga como:
  - En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

#### TRATAMIENTO TERMICO

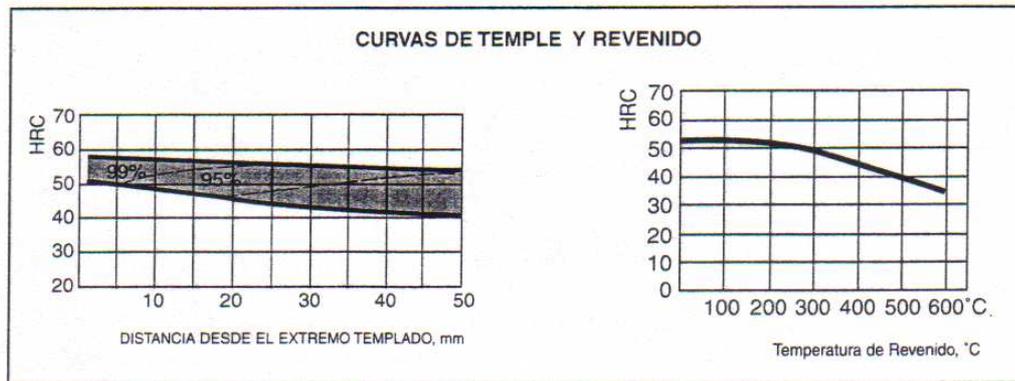
**Recocido Blando** (650-700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

**Alivio de Tensiones** (450-650 °C): El acero templado tenaz debe ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como estándar el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esa temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

**IVAN BOHMAN C.A.**

**Temple** (830-850 °C), con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y revenir inmediatamente.

**Revenido** (500-700 °C). El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1-2 horas o una hog pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. engranajes, deberá revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará una dureza de aproximadamente 500

**MEDIDAS EN STOCK****REDONDO****REDONDO**

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m	mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. kg/m
22	7/8	3.0	90	3 17/32	49.9
25	1	3.9	95	3 3/4	55.6
28	1 3/32	4.8	100	3 15/16	61.6
30	1 3/16	5.5	105	4 1/8	67.9
31.75	1 1/4	6.1	110	4 5/16	74.5
32	1 1/4	6.3	115	4 1/2	81.5
35	1 3/8	7.5	120	4 3/4	88.7
38	1 1/2	8.9	125	4 15/16	96.3
39.69	1 9/16	9.7	130	5 1/8	104.1
40	1 9/16	9.9	135	5 5/16	112.3
44.45	1 3/4	12.2	140	5 1/2	120.7
45	1 3/4	12.5	145	5 11/16	129.5
50	1 31/32	15.4	150	5 7/8	138.6
50.8	2	15.9	160	6 1/4	157.7
55	2 5/32	18.6	170	6 11/16	178.0
60	2 3/8	22.2	180	7 1/8	199.6
60.33	2 3/8	22.4	200	7 7/8	246.4
65	2 9/16	26.0	210	8 1/4	271.7
66.68	2 5/8	27.4	240	9 7/16	354.8
69.85	2 3/4	30.1	250	9 7/8	385.0
70	2 3/4	30.2	260	10 1/4	418.3
75	2 15/16	34.7	300	11 7/8	555
80	3 5/31	39.4	350	13 7/8	755
85	3 11/32	44.5			

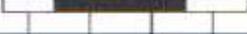
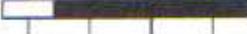
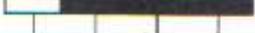
## ***ANEXO IV***

***TABLA DE ELECTRODOS RECUBIERTOS***  
***TABLA DE CALIDADES SUPERFICIALES Y AJUSTES***  
***RECOMENDADOS***  
***TABLA DE ELEMENTOS NORMALIZADOS***

TABLA ELECTRODOS RECUBIERTOS

ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBON	CLASIFICACION (AWS)	USOS Y CARACTERISTICAS	RESISTENCIA TENSION LIMITE ELASTICO ELONGACION	CORRIENTES OPTIMAS APLICACION (AMPERES)
6010 (E 6010) A 5.1	ELECTRODO CELULOSICO DE PENETRACION PROFUNDA EN TODAS POSICIONES, SE USAN EN TRABAJOS ESTRUCTURALES, REPARACIONES, Y UNIONES DE TUBERIAS	RT = 71,000 lb/ pu lg <sup>2</sup> LE = 62,000 lb/ pu lg <sup>2</sup> E = 24%	3/32 1/8 5/32 3/16 7/32 1/4  60 105 155 190 CD (+)	
6011 (E 6011) A 5.1	ELECTRODO CELULOSICO DE ARCO FUERTE Y PENETRACION PROFUNDA SE USA EN TODAS LAS POSICIONES SE USA EN TRABAJOS ESTRUCTURALES, TUBERIAS, BARCOS Y REPARACIONES.	RT = 73,500 lb/ pu lg <sup>2</sup> LE = 60,000 lb/ pu lg <sup>2</sup> E = 24%	75 105 145 175 200 245 CA Y CD	
6013 (E 6013) A 5.1	ELECTRODO DE ALTO RENDIMIENTO DE FACIL APLICACION Y REMOSION DE ESCORIA, SUELDA MAQUINARIA AGRICOLA, MUEBLES METALICOS, CARROCERIA Y REPARACIONES EN GENERAL.	RT = 74,000 lb/ pu lg <sup>2</sup> LE = 63,500 lb/ pu lg <sup>2</sup> E = 22%	75 130 170 210 320 CD (-), CA	

## TABLA DE CALIDADES SUPERFICIALES

Estados Superficiales	PROCESOS NORMALES DE FABRICACIÓN										TABLA 3 . 8			
	Clase de trabajo			Poco esmerado			Esmerado			Fino			Refinado	
Clase de rugosidad	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,1	
Símbolo														
Rugosidad en micrones	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025	0,01	
Rugosidad en micropulgadas	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	0,1	
Oxicorte														
Aserrado														
Cepillado, limado														
Taladrado														
Fresado														
Brochado														
Escariado														
Mandrinado, torneado														
Rectificado cilíndrico														
Pulido cilíndrico														
Rectificado														
Alisado														
Bruñido														
Lapeado														
Superacabado														
Fundición en arena														
Fundición en coquilla														
Fundición a presión														
Forjado														
Extruido														
Trefilado en frío														

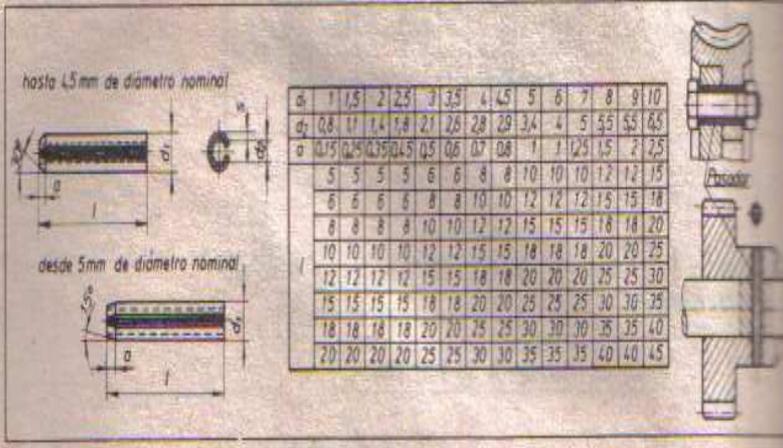
Las rugosidades superficiales expuestas, son obtenidas por procesos normales de fabricación.

### TABLA DE AJUSTES SUPERFICIALES

Ajustes		<b>AJUSTES RECOMENDADOS DESVIACIONES EN MICRAS</b>										TABLA 10 . 8
<b>VALORES DE LAS DESVIACIONES DE LOS AJUSTES RECOMENDADOS</b>												
Tolerancia		Valores nominales, en mm; más de...										
Grado de ajuste	Ajuste	1,6 a 3	3 a 6	6 a 10	10 a 18	18 a 30	30 a 50	50 a 80	80 a 120	120 a 180	180 a 250	
PRECISION	H6-p5	- 14 - 2	- 17 - 4	- 21 - 6	- 26 - 7	- 31 - 9	- 37 - 10	- 45 - 13	- 52 - 15	- 61 - 18	- 70 - 21	
	H6-n5	- 11 + 1	- 13 0	- 16 - 1	- 20 - 1	- 24 - 1	- 28 - 1	- 33 - 1	- 38 - 1	- 45 - 2	- 51 - 2	
	H6-k5	-	-	- 7 + 8	- 9 + 10	- 11 + 11	- 13 + 14	- 15 + 17	- 18 + 19	- 21 + 22	- 24 + 25	
	H6-j5	- 4 + 8	- 4 + 9	- 4 + 10	- 5 + 14	- 5 + 19	- 5 + 21	- 6 + 26	- 6 + 31	- 7 + 36	- 7 + 41	
	H6-h5	+ 12 0	+ 13 0	+ 15 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 32 0	+ 37 0	+ 43 0	+ 48 0	
	H6-g5	+ 15 + 3	+ 17 + 4	+ 20 + 5	+ 25 + 6	+ 29 + 7	+ 36 + 9	+ 42 + 10	+ 49 + 12	+ 57 + 14	+ 64 + 15	
FINO	H7-s6	- 6 - 22	- 7 - 27	- 8 - 32	- 10 - 39	- 14 - 48	- 18 - 59	- 23 - 78	- 36 - 101	- 52 - 133	- 70 - 166	
	H7-r6	- 3 - 19	- 3 - 23	- 4 - 28	- 5 - 34	- 7 - 41	- 9 - 50	- 11 - 62	- 16 - 76	- 23 - 93	- 31 - 110	
	H7-n6	+ 3 - 13	+ 4 - 16	+ 5 - 19	+ 6 - 23	+ 6 - 28	+ 8 - 33	+ 10 - 39	+ 12 - 46	+ 13 - 52	+ 15 - 60	
	H7-k6	-	-	+ 14 - 10	+ 17 - 12	+ 19 - 15	+ 23 - 18	+ 28 - 21	+ 32 - 25	+ 37 - 28	+ 41 - 31	
	H7-j6	+ 10 - 6	+ 13 - 7	+ 17 - 7	+ 21 - 8	+ 25 - 9	+ 30 - 11	+ 37 - 12	+ 44 - 13	+ 51 - 14	+ 59 - 16	
	H7-h6	+ 16 0	+ 20 0	+ 24 0	+ 29 0	+ 34 0	+ 41 0	+ 49 0	+ 57 0	+ 65 0	+ 75 0	
	H7-g6	+ 19 + 3	+ 24 + 4	+ 29 + 5	+ 35 + 6	+ 41 + 7	+ 50 + 9	+ 59 + 10	+ 69 + 12	+ 79 + 14	+ 90 + 15	
	H7-f7	+ 25 + 7	+ 34 + 10	+ 43 + 13	+ 52 + 16	+ 62 + 20	+ 75 + 25	+ 90 + 30	+ 106 + 36	+ 123 + 43	+ 141 + 51	
	F8-h6	+ 21 + 14	+ 36 + 18	+ 44 + 22	+ 54 + 27	+ 66 + 33	+ 80 + 41	+ 95 + 49	+ 112 + 58	+ 131 + 68	+ 151 + 78	
	H7-e8	+ 37 + 14	+ 50 + 20	+ 62 + 25	+ 77 + 32	+ 94 + 40	+ 114 + 50	+ 136 + 60	+ 161 + 72	+ 188 + 85	+ 218 + 98	
E8-h6	+ 35 + 21	+ 46 + 28	+ 56 + 34	+ 70 + 43	+ 84 + 53	+ 105 + 66	+ 125 + 79	+ 148 + 94	+ 173 + 110	+ 201 + 128		
ESMERADO	H8-j9	+ 26 - 13	+ 33 - 15	+ 40 - 18	+ 48 - 22	+ 59 - 26	+ 70 - 31	+ 83 - 37	+ 97 - 44	+ 113 - 50	+ 131 - 58	
	H8-h9	+ 30 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 85 0	+ 101 0	+ 120 0	+ 141 0	+ 163 0	+ 187 0	
	H8-e9	+ 53 + 14	+ 68 + 20	+ 83 + 25	+ 102 + 32	+ 125 + 40	+ 151 + 50	+ 180 + 60	+ 213 + 72	+ 248 + 85	+ 287 + 98	
	H8-d9	+ 59 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 150 + 65	+ 181 + 80	+ 220 + 100	+ 261 + 120	+ 308 + 145	+ 357 + 178	
POCO ESMERADO	H11-h11	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 260 0	+ 320 0	+ 380 0	+ 440 0	+ 500 0	+ 580 0	
	H11-d11	+ 140 + 20	+ 180 + 30	+ 220 + 40	+ 270 + 50	+ 315 + 65	+ 400 + 80	+ 480 + 100	+ 560 + 120	+ 645 + 145	+ 735 + 178	
	H11-c11	+ 180 + 60	+ 220 + 70	+ 260 + 80	+ 315 + 95	+ 370 + 110	+ 440 + 130	+ 520 + 150	+ 610 + 180	+ 700 + 210	+ 800 + 258	
	H11-a11	+ 390 + 270	+ 420 + 270	+ 460 + 280	+ 510 + 290	+ 560 + 300	+ 630 + 320	+ 720 + 360	+ 820 + 410			

**TABLA DE ELEMENTOS NORMALIZADOS**

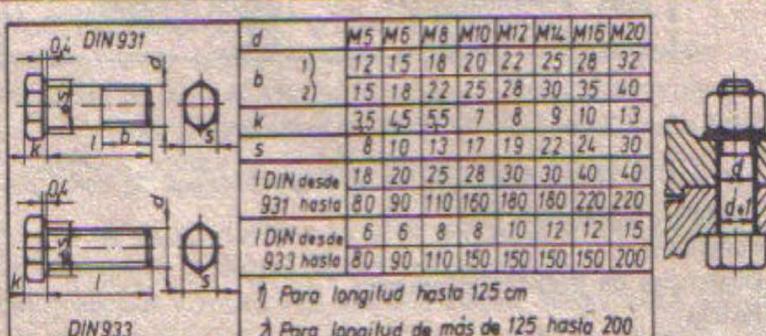
**Tabla 11.65 Pasadores elásticos y aplicaciones**



d	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10
d <sub>1</sub>	0,8	1,1	1,4	1,8	2,1	2,6	2,8	2,9	3,4	4	5	5,5	5,5	6,5
a	0,15	0,25	0,35	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,25	1,5	2	2,5	
l	5	5	5	5	6	6	8	8	10	10	10	12	12	15
	6	6	6	6	8	8	10	10	12	12	12	15	15	18
	8	8	8	8	10	10	12	12	15	15	15	18	18	20
	10	10	10	10	12	12	15	15	18	18	18	20	20	25
	12	12	12	12	15	15	18	18	20	20	20	25	25	30
	15	15	15	15	18	18	20	20	25	25	25	30	30	35
	18	18	18	18	20	20	25	25	30	30	30	35	35	40
	20	20	20	20	25	25	30	30	35	35	35	40	40	45

4.º *Tornillo con cabeza hexagonal.* Entre las varias formas existentes se muestran los DIN 931 y 933 en la tabla 11.14.

**Tabla 11.14 Tornillos de cabeza hexagonal**

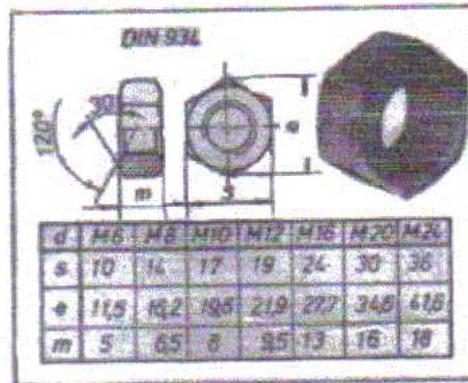


d	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
b	1) 12	15	18	20	22	25	28	32
	2) 15	18	22	25	28	30	35	40
k	3,5	4,5	5,5	7	8	9	10	13
s	8	10	13	17	19	22	24	30
l DIN desde	18	20	25	28	30	30	40	40
	931 hasta	80	90	110	160	180	220	220
l DIN desde	6	6	8	8	10	12	12	15
	933 hasta	80	90	110	150	150	150	200

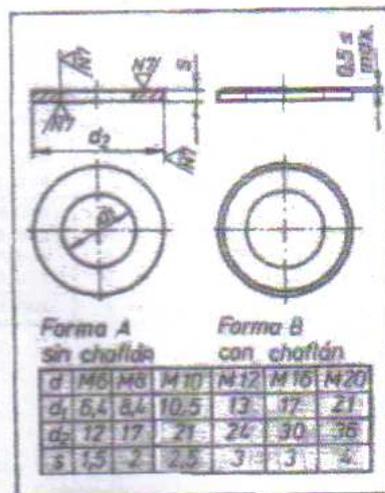
1) Para longitud hasta 125 cm  
 2) Para longitud de más de 125 hasta 200

Aumento progresivo de las longitudes del vástago l: 20, 22, 25, 28, 30, 35, 40, 45... 90, 100, 110... 250.

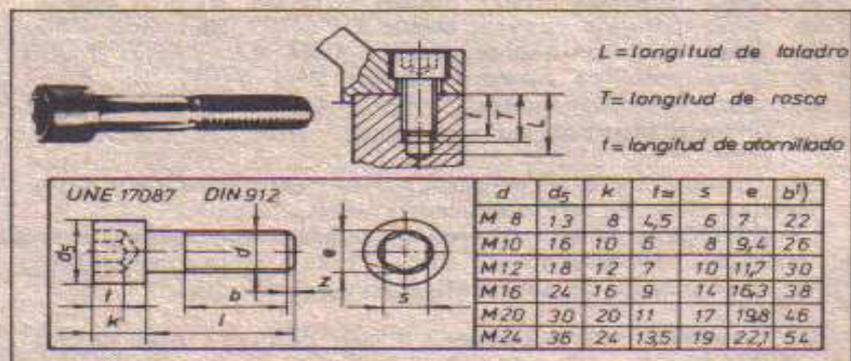
**Tuercas hexagonales**



**Arandelas DIN 125**



**Tabla 11.17 Tornillos de cabeza tipo Allen**



Ejecución: *m*

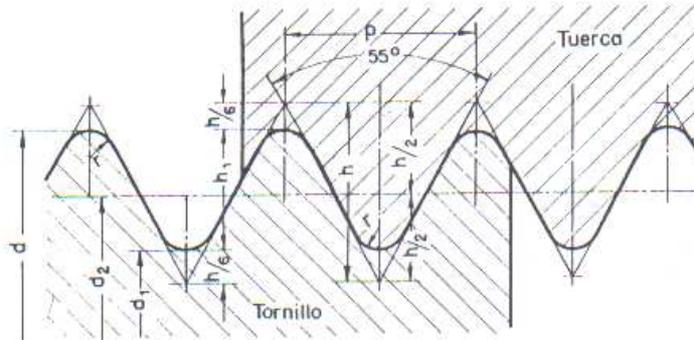
Longitudes del vástago *l* = 15, 18, 20, 22, 25, 30... 75, 80, 90... 240, 250

Hasta la medida de 22 mm de longitud, inclusive, va todo el vástago roscado.

Roscas

**ROSCA WHITWORTH**

TABLA 2 . 13



— Relaciones —

$h = 0,960 p$   
 $h_1 = 0,640 p$   
 $r = 0,137 p$

Diámetro nominal Pulgados	TORNILLO Y TUERCA								Diámetro nominal Pulgados
	Diámetro exterior d	Diámetro en el núcleo d <sub>1</sub>	Sección en el núcleo cm <sup>2</sup>	Profundidad de la rosca h	Radio r	Diámetro medio de la rosca d <sub>2</sub>	Paso p	Hilos por pulgado n	
1/4 5/16 3/8 (7/16)	6,350 7,938 9,525 11,113	4,724 6,131 7,492 8,789	0,175 0,295 0,441 0,607	0,813 0,904 1,017 1,162	0,174 0,194 0,218 0,249	5,537 7,034 8,509 9,951	1,270 1,411 1,588 1,814	20 18 16 14	1/4 5/16 3/8 (7/16)
1/2 5/8 3/4 7/8	12,700 15,876 19,051 22,226	9,990 12,918 15,798 18,611	0,784 1,311 1,960 2,720	1,355 1,479 1,627 1,807	0,291 0,317 0,349 0,388	11,345 14,397 17,424 20,419	2,117 2,309 2,540 2,822	12 11 10 9	1/2 5/8 3/4 7/8
1 1 1/8 1 1/4 1 3/8	25,401 28,576 31,751 34,926	21,335 23,929 27,104 29,505	3,575 4,497 5,770 6,837	2,033 2,324 2,324 2,711	0,436 0,498 0,498 0,581	23,368 26,253 29,428 32,215	3,175 3,629 3,629 4,233	8 7 7 6	1 1 1/8 1 1/4 1 3/8
1 1/2 1 5/8 1 3/4 (1 7/8)	38,101 41,277 44,452 47,627	32,680 34,771 37,946 40,398	8,388 9,495 11,310 12,818	2,711 3,253 3,253 3,614	0,581 0,698 0,698 0,775	35,391 38,024 41,199 44,012	4,233 5,080 5,080 5,645	6 5 5 4 1/2	1 1/2 1 5/8 1 3/4 (1 7/8)
2 2 1/4 2 1/2 2 3/4	50,802 57,152 63,502 69,853	43,573 49,020 55,370 60,558	14,912 18,873 24,079 28,804	3,614 4,066 4,066 4,647	0,775 0,872 0,872 0,997	47,187 53,086 69,436 65,205	5,645 6,350 6,350 7,257	4 1/2 4 4 3 1/2	2 2 1/4 2 1/2 2 3/4
3 3 1/4 3 1/2 3 3/4	76,203 82,553 88,903 95,254	66,909 72,544 78,894 84,410	35,161 41,333 48,885 55,959	4,647 5,005 5,005 5,422	0,997 1,073 1,073 1,163	71,556 77,648 83,899 89,832	7,257 7,816 7,816 8,467	3 1/2 3 1/4 3 1/4 3	3 3 1/4 3 1/2 3 3/4
4 4 1/4 4 1/2 4 3/4	101,604 107,954 114,304 120,655	90,760 96,639 102,990 108,825	64,697 73,349 83,307 93,014	5,422 5,657 5,657 5,915	1,163 1,213 1,213 1,268	96,182 102,297 108,647 114,740	8,467 8,835 8,835 9,237	3 2 7/8 2 7/8 2 3/4	4 4 1/4 4 1/2 4 3/4
5 5 1/4 5 1/2 5 3/4	127,005 133,355 139,705 146,055	115,176 120,963 127,313 133,043	104,185 114,922 127,304 139,022	5,915 6,196 6,195 6,506	1,268 1,329 1,329 1,395	121,090 127,159 133,509 139,549	9,237 9,677 9,677 10,160	2 3/4 2 5/8 2 5/8 2 1/2	5 5 1/4 5 1/2 5 3/4
6	152,406	139,394	152,608	6,506	1,395	145,900	10,160	2 1/2	6

Observaciones.— Los tamaños entre paréntesis deben ser evitados  
Concuerda con la norma DIN 11

***ANEXO V***

***FOTOGRAFÍAS DE LA DOBLADORA MANUAL***

**CONJUNTO DE LA DOBLADORA CON LA MATRIZ DE 20mm****CONJUNTO DE LA DOBLADORA CON LA MATRIZ DE 25.4mm**

## PROBETAS DOBLADAS DE TUBO CUADRADO



**Tubo cuadrado de 20mm doblado**



**Conjunto matriz para doblar tubo de 20mm.**

### Tubo Cuadrado Doblado con Matriz de 20mm

#### Datos:

Tubo de 20mm

$$L_o \approx 300mm$$

$$L_f \approx 315mm$$

$$L_1 \approx 50mm$$

$$L_2 \approx 126mm$$

#### Primer Doblado

$$L_{R1} \approx L_1 + \frac{\pi}{2}(R + H)$$

#### Donde:

$L_{R1}$  = longitud de rayado

$R$  = radio de curvatura hasta el eje neutro

$H$  = altura total del tubo

$L_1$  = longitud d inicio de doblado.

$L_2$  = longitud libre después del doblado

$L_f$  = longitud final después del doblado

$L_T$  = longitud total

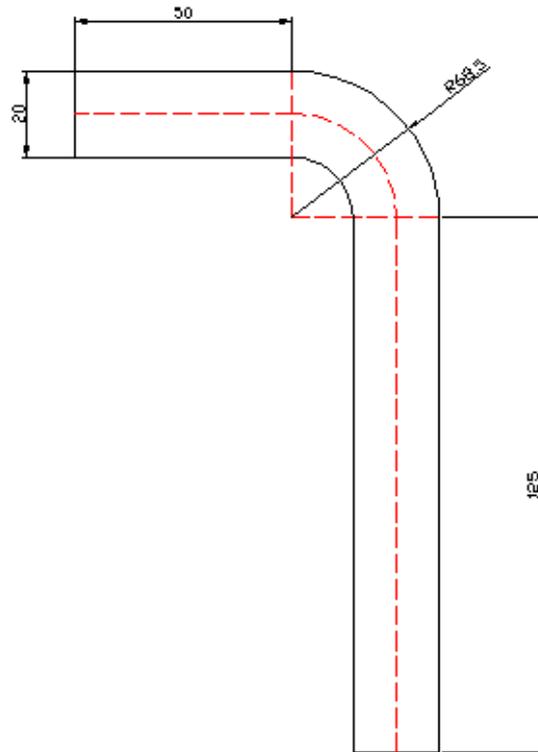
$$L_{R1} \approx 50 + \frac{\pi}{2}(68.5 + 20)$$

$$L_{R1} \approx 189mm$$

$$L_T \approx L_2 + L_{R1}$$

$$L_T \approx 126 + 189$$

$$L_T \approx 315mm$$



### Tubo Cuadrado Doblado con Matriz de 25.4mm

#### Datos:

Tubo de 25.4mm espesor 1.2mm.

$$L_o \approx 300mm$$

$$L_f \approx 320mm$$

$$L_1 \approx 80mm$$

$$L_2 \approx 76mm$$

#### Primer Doblado

$$L_{R1} \approx L_1 + \frac{\pi}{2}(R + H)$$

#### Donde:

$L_{R1}$  = longitud de rayado

$R$  = radio de curvatura

$H$  = altura total del tubo

$L_1$  = longitud d inicio de doblado.

$L_2$  = longitud libre después del doblado

$L_f$  = longitud final después del doblado

$L_T$  = longitud total

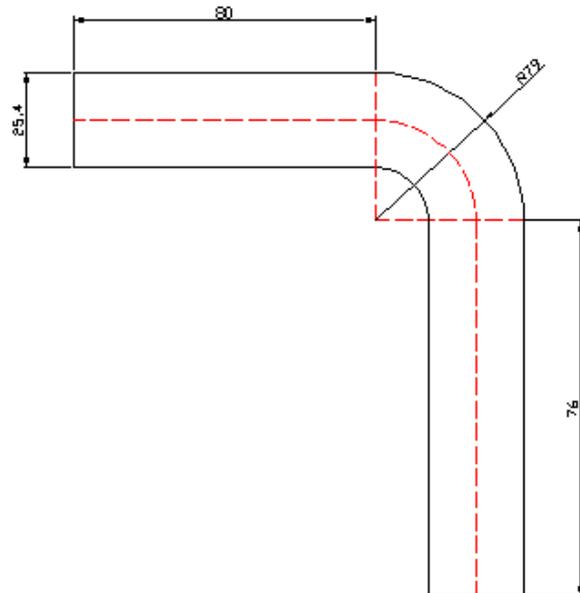
$$L_{R1} \approx 80 + \frac{\pi}{2}(79 + 25.4)$$

$$L_{R1} \approx 244mm$$

$$L_T \approx L_2 + L_{R1}$$

$$L_T \approx 76 + 244$$

$$L_T \approx 320$$



***ANEXO VI***

***PLANOS***