

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO PARA
ENSAYOS DE DOBLEZ EN U, QUE SE ACOPLE A UNA
PRENSA HIDRÁULICA**

PRESENTADO POR:

EDUARDO LUIS LÓPEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

M.Sc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO PARA
ENSAYOS DE DOBLEZ EN U, QUE SE ACOUPLE A UNA
PRENSA HIDRÁULICA**

Presentado por:

EDUARDO LUIS LÓPEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

SAN SALVADOR, OCTUBRE 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

A mi madre Transito López, quien en vida con su ejemplo me enseñó la importancia del esfuerzo y la dedicación.

Eduardo López

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de El Salvador por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y principalmente a los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por haber compartido parte de sus conocimientos.

A mi madre Transito López, que siempre me motivó para culminar mi carrera universitaria y a mi esposa Ingrid Quintanilla, que en la última etapa de mi carrera siempre estuvo conmigo apoyándome en todo momento.

A mis compañeros y amigos que en algún momento de desánimo tuvieron una palabra de apoyo y motivación.

A mi asesor de trabajo de graduación Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz por su invaluable guía en el proceso de elaboración de este trabajo de graduación.

Eduardo López

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACCESORIO PARA ENSAYOS DE DOBLEZ EN U, QUE SE ACOPLE A UNA PRENSA HIDRÁULICA

Estudiante: Br. Eduardo Luis López¹

Docente asesor Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz²

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

¹ E-mail: eduardo.lopez90@outlook.com

² E-mail: jaberriosortiz@gmail.com

RESUMEN

Se realizó una investigación sobre el ensayo de doblez en U guiado para evaluar la ductilidad en la soldadura, se aborda las especificaciones que las normas ASTM E-190-92 y AWS B4.0 presentan. Además, se presenta el cálculo de cargas en el proceso de doblez en U, esto como base para el diseño que se realizó de accesorios que acoplados a una prensa hidráulica permitan realizar el doblez en U, respetando las dimensiones de doblez que la norma ASTM E-190 específica; así, se describe el proceso de fabricación de los elementos. También, se fabricaron probetas para ensayos de doblez respetando las dimensiones y los estándares que la norma ASTM E-190 describe. Además, se presenta la manera en que se deben realizar los ensayo de doblez en U, utilizando la máquina de doblez compuesta por una prensa hidráulica y los accesorios fabricados. Finalmente, se presentan los criterios de evaluación de soldadura al realizar el ensayo de doblez en U recomendados por la AWS Evaluación de Inspector en Soldadura.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Ensayo de doblez guiado según la ASTM E-190.....	4
1.1.1. Descripción del método de ensayo.....	4
1.1.2. Significado y uso.....	5
1.1.3. Aparato.....	5
1.1.4. Probetas para el ensayo.....	6
1.1.5. Curvatura lateral transversal.....	6
1.1.6. Curvatura transversal de cara.....	7
1.1.7. Curvatura transversal de raíz.....	7
1.1.8. Curvatura longitudinal de cara.....	8
1.1.9. Curvatura longitudinal de la raíz.....	8
1.1.10. Procedimiento.....	9
1.1.11. Interpretación de los resultados.....	9
1.1.12. Precisión y sesgo.....	9
1.2. Ensayo de doblez según la AWS B4.0.....	10
1.2.1. Significado.....	11
1.2.2. Aparatos.....	11
1.2.3. Probetas para el ensayo.....	15
1.2.4. Curvatura lateral transversal.....	15
1.2.5. Curvatura transversal de cara.....	17
1.2.6. Curvatura de la raíz transversal.....	17
1.2.7. Curvatura longitudinal de la cara.....	20
1.2.8. Curvatura longitudinal de la raíz.....	20
1.2.9. Curvatura de raíz de soldadura de filete.....	21
1.2.10. Probetas de soldadura de superficies.....	22

	Pág.
1.2.11. Probeta para curvatura longitudinal de soldadura de filete...	23
1.3. Resultados requeridos para la prueba de doblez guiado.....	24
2. DISEÑO DE ACCESORIOS.....	26
2.1. Dimensiones de elementos para realizar doblez en u de acuerdo con la norma ASTM E-190.....	26
2.2. Análisis de carga y energía para realizar doblez en U.....	27
2.3. Análisis de esfuerzos y dimensionamiento de accesorios para máquina de doblez en U.....	34
2.3.1. Ejes de rodillos de apoyo.....	35
2.3.2. Rodillos de apoyo.....	39
2.3.3. Empujador.....	43
2.3.3.1. Cuerpo del empujador.....	44
2.3.3.2. Cabeza del empujador.....	45
2.4. Conjunto de elementos a fabricar.....	47
2.5. Otros elementos.....	48
2.6. Análisis de esfuerzos para las placas de la prensa hidráulica.....	48
3. CONSTRUCCIÓN DEL ACCESORIO.....	51
3.1. Ejes de rodillos de apoyo.....	51
3.2. Rodillos de apoyo.....	52
3.3. Empujador.....	54
3.3.1. Cuerpo del empujador.....	54
3.3.2. Cabeza del empujador.....	57
3.4. Agujeros en placas de la prensa hidráulica.....	58
3.5. Unión soldada entre empujador y placa para resortes.....	59
3.6. Placas de sujeción y elementos adquiridos	60
3.7 Pavonado de Accesorios.....	62

	Pág.
4. DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS Y ENSAYO.....	63
4.1. Probetas para ensayo de dobléz guiado en U.....	63
4.2. Criterios de aceptación de la soldadura de ranura.....	69
4.2.1. Descripción de aceptación del perfil de soldadura.....	69
4.2.2. Criterios de aceptación para inspección visual de soldadura.....	72
4.2.3. Resultados requeridos para prueba de dobléz guiado.....	73
4.3. Operación de la máquina para realizar dobléz en U.....	74
 5. COSTOS DEL PROYETO.....	 82
 CONCLUSIONES.....	 85
 RECOMEDACIONES.....	 86
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 87
 ANEXOS.....	 88
Anexo A.- Planos.....	89
Anexo B.- Facturas.....	96

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Dimensiones de dispositivos de dobladoras.....	6
Tabla 1.2. Dimensiones de probetas para curvatura lateral transversal.....	7
Tabla 1.3. Dimensiones de accesorios para 20% de alargamiento de la soldadura.....	13
Tabla 2.1. Dimensiones de émbolo y distancia entre apoyos para realizar dobles en U a diferentes espesores de probeta.....	26
Tabla 2.2. Dimensiones de probetas, fuerzas totales y fuerzas de diseño para realizar dobléz en U.....	33
Tabla 4.1. Especificaciones de la soldadura de ranura de bisel en V.....	66
Tabla 4.2. Especificaciones de la soldadura de ranura de bisel en V con respaldo.....	67
Tabla 4.3. Convexidad de perfil de soldadura de filete.....	70
Tabla 4.4. Probeta y su correspondiente cabeza de empujador.....	74
Tabla 5.1. Costos de la materia prima.....	82
Tabla 5.2. Costos de los insumos.....	82
Tabla 5.3. Costos de la mano de obra.....	83
Tabla 5.4. Costos de las normas compradas.....	83
Tabla 5.5. Costos del proyecto.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Modelo de dispositivo de dobladora.....	5
Fig. 1.2. Probeta para curvatura lateral transversal.....	6
Fig. 1.3. Probeta para curvatura transversal de cara.....	7
Fig. 1.4. Probeta para curvatura transversal de raíz.....	8
Fig. 1.5. Probeta para curvatura longitudinal de cara y raíz.....	8
Fig. 1.6. Accesorio típico de inyección a fondo para ensayo de curvatura guiada.....	12
Fig. 1.7. Accesorio típico para ensayos de curvatura guiada a fondo.....	13
Fig. 1.8. Dispositivo típico para realizar curvatura guiada envolvente.....	14
Fig. 1.9. Probeta para curvatura lateral.....	16
Fig. 1.10. Probetas planas para curvaturas transversales de cara (A) y raíz (B).....	18
Fig. 1.11. Probetas de tubo para curvaturas transversales: (a) de cara y (b) de raíz.....	19
Fig. 1.12. Probeta para curvatura longitudinal de cara o raíz.....	20
Fig. 1.13. Probeta para curvatura de raíz de soldadura de filete.....	21
Fig. 1.14. Probetas de soldadura de superficies.....	22
Fig. 1.15. Probeta longitudinal para curvatura de soldadura de filete.....	23
Fig. 1.16. Dimensiones recomendadas de probetas para las cuales se aplican criterios de evaluación.....	25
Fig. 2.1. Mecanismo básico de cómo se realizará el dobléz en U.....	27
Fig. 2.2. Estructura del herramental básico presentado por el JICA y CIDESI para dobléz en U.....	28
Fig. 2.3. Longitud del dobléz en U.....	29
Fig. 2.4. Condiciones de la estructura del herramental para realizar dobléz en U.....	30
Fig. 2.5. Grafico Fuerza – Doblez en U.....	31
Fig. 2.6. Ejes de rodillos.....	35
Fig. 2.7. Diagrama de carga para eje de rodillo de apoyo.....	36
Fig. 2.8. Diagrama de cortante para eje de rodillo de apoyo (cargas en kN).....	36

	Pág.
Fig. 2.9 Diagrama de momento para eje de rodillo de apoyo (momentos en kN·m).....	37
Fig. 2.10. Esfuerzos normales provocados por el momento máximo en el eje de rodillo de apoyo.....	37
Fig. 2.11. Diagrama de circulo de Mohr's para sección transversal de eje de rodillo de apoyo.....	38
Fig. 2.12. Rodillo de apoyo.....	39
Fig. 2.13. Tres tipos de contacto.....	40
Fig. 2.14. Contacto entre elementos cilíndricos.....	41
Fig. 2.15. Cuerpo del empujador.....	44
Fig. 2.16. Cabezas del empujador.....	45
Fig. 2.17. Conjunto de elementos.....	48
Fig. 2.18. Placa de Prensa Hidráulica.....	49
Fig. 2.19. Prensa Hidráulica y accesorios.....	50
Fig. 3.1. Materia prima.....	51
Fig. 3.2. Tronzado de material sobrante.....	52
Fig. 3.3. Tronzado de barra perforada apoyada entre plato y contrapunto.....	53
Fig. 3.4. Cilindrado interno de rodillo de apoyo.....	53
Fig. 3.5. Perforación de agujero en cara inferior de cuerpo del empujador.....	54
Fig. 3.6. Maquinado de superficie cilíndrica Del cuerpo del empujador.	55
Fig. 3.7. Taladrado de agujeros para roscar en cuerpo de empujador.....	56
Fig. 3.8. Roscado en cuerpo del empujador.....	56
Fig. 3.9. Cabezas del empujador.....	57
Fig. 3.10. Prensa hidráulica con sus placas a perforar.....	58
Fig. 3.11. Placas de prensa hidráulica siendo perforadas en taladro de banco.....	59
Fig. 3.12. Cilindro contenedor de argón, flujómetro y antorcha para soldadura . TIG.....	60
Fig.3.13. Unión soldada entre empujador y placa.....	60
Fig. 3.14. Placa de sujeción entre cuerpo y cabeza de empujador.....	61

	Pág.
Fig. 3.15. Arandelas seeger y pernos.....	61
Fig. 3.16. Calentamiento por medio de una antorcha de autógena.....	62
Fig. 3.17. Accesorios después de pavonado.....	62
Fig. 4.1. a) Secciones de pletina utilizadas para iniciar y finalizar cordón de soldadura, b) Secciones de pletina que formaran la probeta.....	64
Fig. 4.2. Secciones de pletina con bisel para fabricar probeta (las dimensiones del bisel son para probeta de 9.53 mm (3/8) pulgadas).....	65
Fig. 4.3. Soldadura de ranura bisel en V.....	66
Fig. 4.4. Soldadura de ranura bisel en V con respaldo.....	66
Fig. 4.5. Proceso de soldadura de probeta.....	67
Fig. 4.6. Probeta luego de retirar las secciones de inicio y fin del cordón de soldadura.....	68
Fig. 4.7. Esquema de la zona a esmerilar para dobles de cara.....	68
Fig. 4.8. Esquema de zona a esmerilar para doblez de raíz.....	69
Fig. 4.9. Perfiles Deseables y aceptables de Soldadura de Filete.....	70
Fig. 4.10. Perfiles no aceptables de soldadura de filete.....	70
Fig. 4.11. Perfiles aceptables de soldadura de ranura.....	71
Fig. 4.12. Perfiles no aceptables de soldadura de ranura.....	71
Fig. 4.13. Cabezas del empujador.....	75
Fig. 4.14. Ensamble de placas de sujeción y cabeza de empujador utilizando pernos.....	75
Fig. 4.15. Cabeza de empujador con las placas de sujeción.....	76
Fig. 4.16. Máquina de doblez en U.....	76
Fig. 4.17. Montaje de la cabeza del empujador.....	77
Fig. 4.18. Posición de la probeta para realizar doblez.....	77
Fig. 4.19. Desplazamiento en el cual se debe sostener la probeta con la mano para que no pierda su posición.....	78
Fig. 4.20. Forma de accionamiento de la prensa hidráulica.....	78
Fig. 4.21. Probeta siendo dobla en la máquina de doblez en U.....	79
Fig. 4.22. Dobleces de prueba para espesores de 9.5mm, 6.35mm y 3.18mm.....	80
Fig. 4.23. Cordón de soldadura antes y después del ensayo doblez de cara.....	80
Fig. 4.24. Falla de una probeta en ensayo de doblado de raíz.....	81

SÍMBOLOS Y SIGLAS

- A, B, C y D: Dimensión lineal de modelo de máquina de doblez
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- AWS: American Welding Society
- E: Módulo de elasticidad
- E_U : Energía requerida para el doblado en U
- f: Altura de raíz
- h_U : Longitud de carrera para la transformación de doblez
- JICA: Agencia de Cooperación Internacional del Japón
- K_3 y k_4 : Constante para el cálculo de fuerza necesaria para realizar doblez
- P: Punzón
- P_{cmax} : Presión máxima en esfuerzos de contacto
- PP: Botador
- P_U : Fuerza para realizar el doblado en U
- P_{UD} : Fuerza de diseño para realizar doblez en U
- P_{UT} : Fuerza total para realizar doblado en U
- r: Radio
- R: Abertura de raíz
- S_y : Esfuerzo de fluencia
- r_d : Radio de la matriz
- r_p : Radio del punzón
- SAE: Society of Automotive Engineers
- SIDECI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
- T: Espesor de probeta sin maquinar
- t: Espesor final de probeta
- tf: Tonelada fuerza
- W: Dimensión lineal cordón de soldadura
- α : Ángulo
- ν : Relación de Poisson
- e: Elongación de la superficie exterior de un material al doblarse
- σ : Esfuerzo
- σ_1 y σ_2 : Esfuerzos principales
- σ_B : Esfuerzo en el material al doblarse
- $\tau_{máx}$: Esfuerzo cortante máximo

INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales han evolucionado constantemente, esto con el fin de ser más eficientes en un entorno sumamente competitivo. La soldadura es un proceso ampliamente difundido, así está presente en prácticamente todas las ramas de la industria, como alimenticia, petrolera, energética, entre otras.

Se dice que la soldadura es un sistema porque intervienen los elementos propios de este, es decir: mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente y medios escritos (procedimientos). La unión satisfactoria implica que debe pasar las pruebas mecánicas (tracción y dobléz). Las técnicas son los diferentes procesos (SMAW, SAW, GTAW, entre otros) utilizados para la situación más conveniente y favorable, lo que hace que sea lo más económico, sin dejar de lado la seguridad.

Por lo anterior se puede decir que la soldadura es un proceso importante y como tal merece ser evaluado, para ello existen incluso profesionales certificados para la evaluación de soldadura, los cuales realizan ensayos que pueden ser no destructivos o destructivos.

Entre los ensayos no destructivos se pueden mencionar: inspección visual, inspección por tintas penetrantes, inspección por ultrasonido, inspección radiográfica, entre otros. Además, para los ensayos destructivos: ensayos químicos, ensayo metalográfico, ensayos de dureza, ensayo de impacto, ensayo de tracción, ensayo de fatiga, ensayo de dobléz, entre otros.

Los ensayos de dobléz se utilizan típicamente para comprobar la ductilidad del material y el dobléz puede ser libre o guiado. En soldaduras a tope se utilizan casi siempre ensayos de dobléz guiado transversales que pueden ser de cara, raíz o laterales, ya doblada se inspecciona la cara convexa en busca de posibles defectos.

El ensayo de dobléz es uno de los métodos para evaluar la ductilidad de un metal. Este tipo de ensayo se emplea básicamente en metales con formas de láminas, tubos, alambres, entre otros.

EL objeto del ensayo de doblez en U, no es sustituir ningún otro ensayo de evaluación de soldadura, sino ser un ensayo complementario que de referencia evaluando otro aspecto de la soldadura como es la ductilidad.

Existen diferentes normas, que presentan sus especificaciones referentes al ensayo de doblez en U para evaluar ductilidad, entre estas normas se pueden citar las normas de la ASTM E-190, AWS B4.0 Standard Methods for Mechanical Testing Of Welds, ASME Boiler & Pressure Vessel Code IX Welding and Brazing Qualifications, ISO 7438, API 5L Specification for Line Pipe.

Entre las normas citadas anteriormente, en el presente trabajo se tomaron como referencias la ASTM-190 y AWS B4.0 Standard Methods for Mechanical Testing Of Welds.

Cabe destacar que la referencias bibliográficas en libros de texto, del ensayo de doblez en U para evaluar ductilidad en la soldadura, es muy escasa y es ahí donde el esfuerzo de realización de este trabajo toma importancia, pues presenta un marco teórico donde se describe el ensayo de doblez en U con detalle, referenciado y apegado a las normas internacionalmente aceptadas, presentadas por instituciones como ASTM y AWS.

El ensayo de doblez en U se realiza generalmente con accesorios que se acoplan a una máquina de ensayos de tracción, en este trabajo se presenta la idea de tener una máquina de pequeñas dimensiones, de tal forma que se pueda trasladar de un lugar a otro, pero que cuente con las características necesarias para poder realizar el ensayo de doblez en U a probetas de los espesores más comunes, usados en este ensayo y que además sea confiable tanto en la seguridad de operación, como en la fidelidad de los resultados del ensayo acorde con lo especificado por las normas citadas en párrafos anteriores.

Para la máquina de ensayo de doblez en U, se contó con una prensa hidráulica y fue importante determinar la gama de espesores de probetas que se pueden doblar en U con su capacidad, para ello se realizó un análisis de cargas necesarias para realizar doblez en U, tomando en consideración metales y configuración geométrica del doblez, para este análisis se utilizó como referencia

el documento titulado: Proyecto de Mejoramiento de Tecnología de Estampado y Troquelado presentado por CIDESI y JICA.

A partir del cálculo de las cargas necesarias para realizar doblez en U, se inició el diseño de los accesorios, analizando los esfuerzos en estos y tomando en cuenta las limitaciones del mercado salvadoreño en cuanto a materiales, lo cual condujo a una serie de planos y especificaciones técnicas.

El proceso de fabricación se llevó a cabo con máquinas-herramientas comunes en un taller de metal mecánica como torno, fresadora, taladro de banco y equipo de soldadura por arco eléctrico y autógeno. El proceso de fabricación mencionado es descrito e ilustrado en el capítulo tres del presente trabajo.

Se describe el proceso de fabricación de probetas y se presentan los resultados de los primeros ensayos realizados, así como los criterios para evaluar la ductilidad en la soldadura por el método del ensayo de doblez en U.

Por último se presenta un análisis referente a los costos del proyecto donde se puede apreciar los costos de materiales, mano de obra, entre otros.

1. MARCO TEÓRICO

En este marco teórico del trabajo de graduación titulado Diseño y construcción de un accesorio para ensayos de doblez en U, que se acople a una prensa hidráulica, se presenta un resumen de la normativa para la realización del ensayo de doblez guiado en U y los criterios para evaluar los resultados de dicho ensayo.

1.1. ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO SEGÚN LA ASTM E-190-92

Este método de ensayo comprende en realizar una prueba de curvatura guiada, para la determinación de la solidez y ductilidad de las soldaduras. Los defectos, no mostrados por los rayos X, pueden aparecer en la superficie de una muestra cuando progresivamente se aplica una sobrecarga localizada [1].

Este ensayo de curvatura guiada se ha desarrollado principalmente para placas, y no está destinada a sustituir otros métodos de ensayo de flexión [1].

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO

El espécimen se dobla en una matriz en forma de U según la ASTM E-190-92, mediante una carga aplicada al centro justamente donde se encuentra la soldadura, esto en un espécimen plano soportado en dos posiciones equidistantes de la línea de acción de la fuerza [1].

El espécimen es forzado en la matriz por un émbolo según la ASTM E-190-92, teniendo la forma necesaria para producir el contorno deseado. La superficie convexa del espécimen doblado se examina si existen grietas u otros defectos abiertos visibles al ojo humano [1].

1.1.2. SIGNIFICADO Y USO

El ensayo de flexión guiado, es utilizado para evaluar la calidad de las soldaduras en función de la ductilidad por medio de su capacidad para resistir el agrietamiento durante la flexión [1].

1.1.3. APARATO

Un modelo de dispositivo para realizar los ensayos de curvatura guiada en U se presenta en la Fig. 1.1.

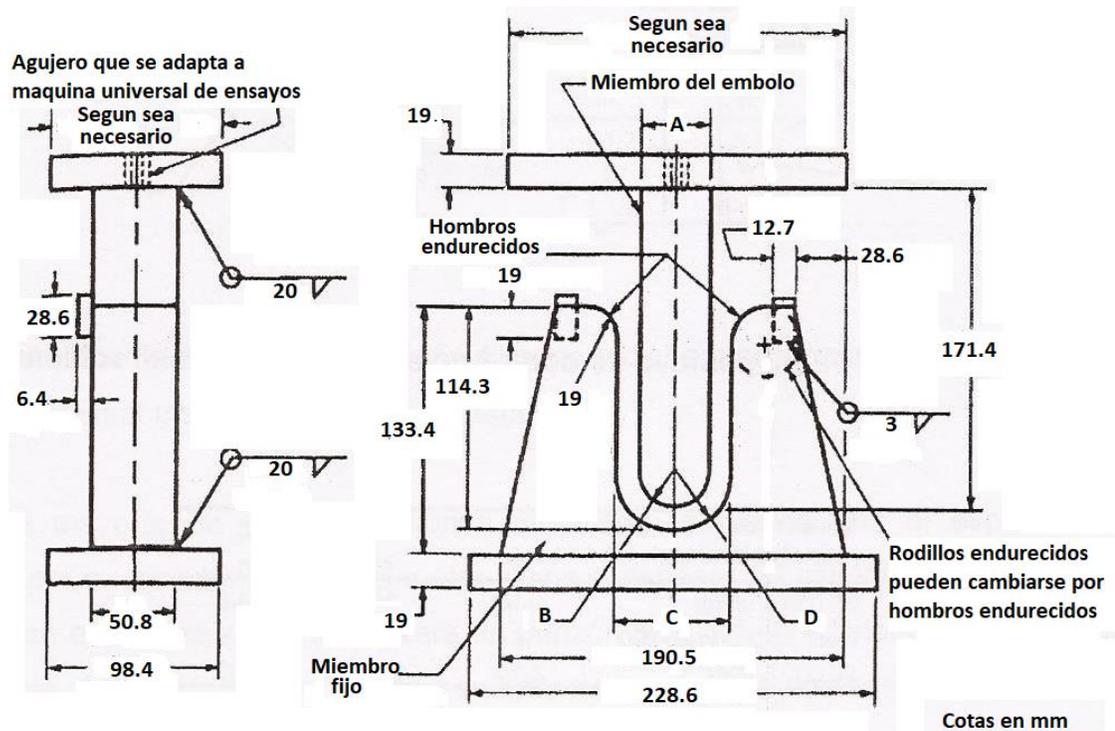


Fig. 1.1. Modelo de dispositivo de dobladora [1].

Las dimensiones de algunos elementos varían dependiendo del espesor de la probeta plana de ensayo tal como se presenta en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Dimensiones de dispositivos de dobladoras [1].

Espesor de probetas, mm (pulg)	A, mm (pulg)	B, mm (pulg)	C, mm (pulg)	D, mm (pulg)
9.5 (³ / ₈)	38 (1 ¹ / ₂)	19 (³ / ₄)	60 (2 ³ / ₈)	30 (1 ³ / ₁₆)
3.2 (¹ / ₈)	54 (2 ¹ / ₈)	27 (1 ¹ / ₁₆)	60 (2 ³ / ₈)	30 (1 ³ / ₁₆)
T	4t	2t	6t + 3.2 (+1/8)	3t + 1.6 (+1/16)

1.1.4. PROBETAS PARA EL ENSAYO

Los tipos de especímenes generalmente utilizados para curvas guiadas son probetas rectangulares mecanizadas de placas y tuberías [1].

La superficie de la muestra plana que contiene el mayor ancho del material de soldadura se denomina cara, mientras que el lado opuesto se denomina superficie de raíz [1].

1.1.5. CURVATURA LATERAL TRANSVERSAL

La soldadura es transversal a la longitudinal del espécimen que se está doblando de manera que una de las superficies laterales se convierte en la superficie convexa de la probeta una vez doblada tal como se presenta en la figura 1.2 [1].

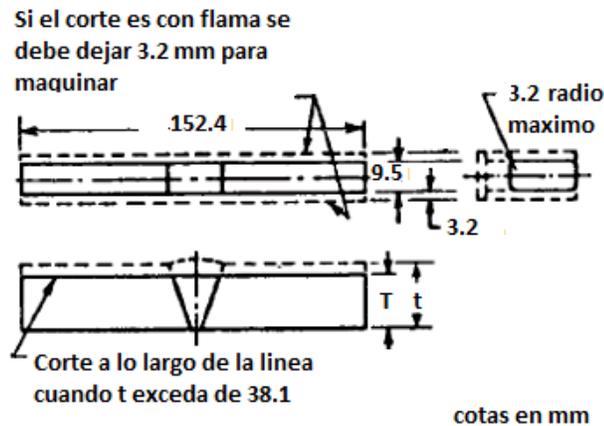


Fig. 1.2. Probeta para curvatura lateral transversal [1].

A continuación en la Tabla 1.2 se presenta las dimensiones de probetas para el doblado lateral transversal.

Tabla 1.2. Dimensiones de probetas para curvatura lateral transversal [1].

t, mm (pulg)	T, mm (pulg).
9.5 a 38 (3/8 a 1 1/2)	t
>38 (1 1/2)	19 a 38mm (3/4 a 1 1/2)

1.1.6. CURVATURA TRANSVERSAL DE CARA

La soldadura es transversal a la longitudinal de la probeta que se está doblando (ver figura 1.3) de modo que la superficie o cara de la soldadura se convierte en la superficie convexa de la probeta una vez doblada [1].

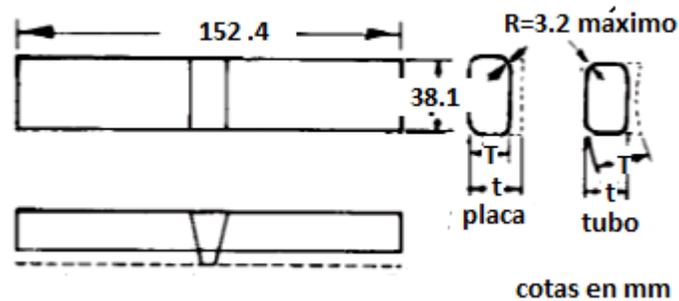


Fig. 1.3. Probeta para curvatura transversal de cara [1].

1.1.7. CURVATURA TRANSVERSAL DE RAÍZ

La soldadura es transversal al eje longitudinal de la probeta que se está doblando (ver figura 1.4) de modo que la superficie de raíz de la soldadura se convierte en la superficie convexa de la probeta una vez doblada [1].

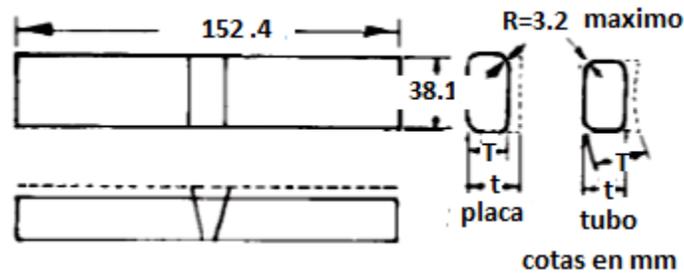


Fig. 1.4. Probeta para curvatura transversal de raíz [1].

1.1.8. CURVATURA LONGITUDINAL DE CARA

La soldadura es paralela al eje longitudinal de la probeta que se está doblando, de modo que la superficie de la cara de la soldadura se convierte en la superficie convexa de la probeta una vez doblada [1].

1.1.9. CURVATURA LONGITUDINAL DE LA RAÍZ

La soldadura es paralela al eje longitudinal de la probeta que se está doblando, ver figura 1.5, de modo que la superficie raíz de la soldadura se convierte en la superficie convexa de la probeta una vez doblada [1].

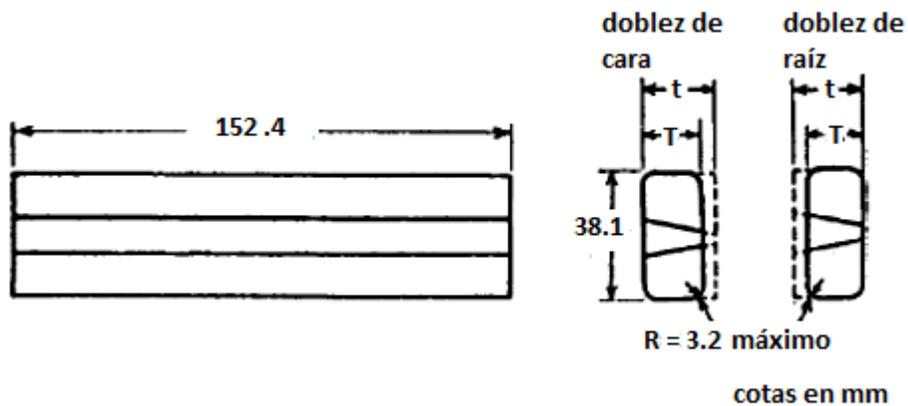


Fig. 1.5. Probeta para curvatura longitudinal de cara y raíz [1].

1.1.10. PROCEDIMIENTO

Doblar las probetas en una plantilla de prueba que esté sustancialmente de acuerdo con el modelo de dispositivo presentado en la norma ASTM E 190-92 [1].

Dependiendo del tipo de doblado a realizar se debe ubicar la probeta para poder utilizar medios adecuados para mover el émbolo con relación al dado. Pero debe ser estable y sin ningún movimiento lateral significativo. La carga se debe aplicar hasta que la probeta se ajusta a una forma de U, y la distancia no debe ser mayor a 3.2 mm (1/8 pulg) en cualquier punto en la curvatura de la probeta y la matriz a menos que la muestra falle antes [1].

1.1.11. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Examinar la superficie convexa de la muestra doblada para buscar grietas u otros defectos expuestos [1].

Cuando la prueba se lleve a cabo como un criterio de aceptación, el tamaño de las grietas admisibles se especificará mediante el código o especificación que requiera la prueba [1].

Cuando la prueba se realice con fines informativos, se indica el tamaño y la ubicación de todas las grietas visibles para el ojo [1].

1.1.12. PRECISIÓN Y SESGO

No se hacen declaraciones de precisión y sesgo para esta prueba porque el resultado de la prueba es un informe no numérico de éxito o fracaso en función de criterios especificados en las Normas ASTM E-190 y AWS B4.0 [2].

1.2. ENSAYO DE DOBLEZ SEGÚN LA AWS B4.0

La norma cubre el ensayo de doblado de soldaduras de filete, soldaduras de ranura en las juntas a tope y el ensayo de soldaduras superficiales. La norma establece los requisitos para preparación de la probeta de prueba de flexión, parámetros de prueba y procedimiento de pruebas, pero no especifica criterios de aceptación [3].

Los materiales de base pueden ser homogéneos, revestidos o de otra forma, a excepción de revestimiento duro [3].

Esta norma es aplicable para lo siguiente:

- a) Calificación de materiales, personal de soldadura y procedimientos de soldadura;
- b) Información, especificaciones de aceptación, fabricación y control de calidad; e
- c) Investigación y desarrollo [3].

Cuando se realice el ensayo de doblez, se debe especificar la siguiente información:

- a) La ubicación específica y la orientación de los especímenes.
- b) Los tipos específicos de pruebas; por ejemplo: curvatura, flexión lateral y curvatura de raíz; y número de ejemplares necesario.
- c) Radio de curvatura y grosor de la muestra, o porcentaje de alargamiento. Cuando no se especifique lo contrario, el alargamiento está generalmente determinado por el metal base o requerimiento de metal de relleno, lo que sea menor.
- d) Tratamientos térmicos o mecánicos post-soldadura, según corresponda [3].

Las definiciones y símbolos que la AWS presenta para el ensayo son las siguientes:

A es el radio del émbolo o del mandril

B es el radio del dado

e es el alargamiento de la superficie exterior

ID es el diámetro interior
L es la longitud de la placa de prueba
R es el radio de los hombros o rodillos
S es el espesor de soldadura superficial
T es el espesor de la muestra
T es el espesor de soldadura de prueba
W es el ancho de muestra.

Las probetas se doblan en el proceso mediante un dispositivo conformado por un émbolo con envolvente y en los extremos rodillos [3].

La carga máxima sobre la superficie convexa es controlada por el espesor del espécimen y el radio del mandril o émbolo [3].

1.2.1. SIGNIFICADO

La ductilidad de la junta soldada, se evidencia por su capacidad para resistir el desgarramiento y la presencia de defectos sobre la superficie a tracción, al realizar una curva guiada [3].

Los ensayos de flexión del revestimiento de soldadura sirven para detectar la fusión incompleta, lagrimeo, delaminación, macro discontinuidades, y el efecto de la configuración del cordón [3].

1.2.2. APARATOS

Las muestras a las que se ha de realizar el ensayo de curvatura guiada pueden ser probadas en dos tipos de accesorios. Un tipo es el accesorio de curvatura guiado, que está diseñado para soportar y cargar el espécimen de modo que realiza plegado de tres puntos. Otra opción es un envolvente que fija un extremo de la muestra y utiliza un rodillo para forzar la muestra a doblar alrededor de un mandril [3].

El accesorio de curvatura guiada deberá tener las dimensiones dadas en las Figs. 1.6 - 1.8 y Tabla 1.3 [3].

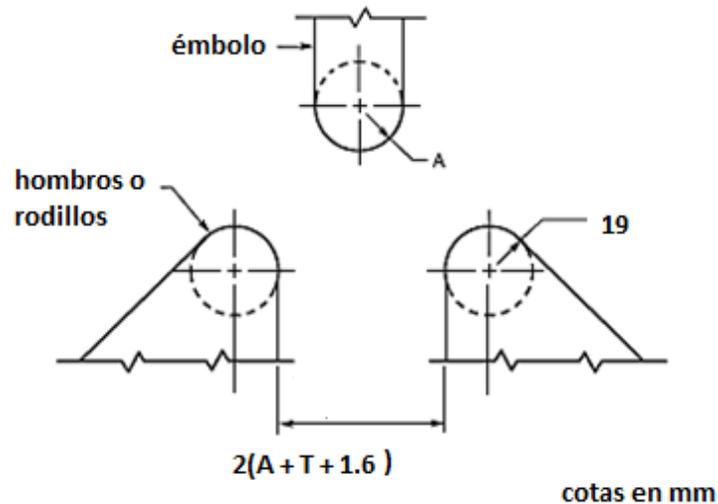


Fig. 1.6. Accesorio típico de inyección a fondo para ensayo de curvatura guiada [3].

Notas:

- Se utilizarán los hombros endurecidos y engrasados o los rodillos endurecidos que estén libres de rotar.
- El hombro o los rodillos deberán tener una longitud mínima de apoyo de 50 mm (2 pulg) para la colocación de la muestra.
- Los hombros o rodillos deben estar lo suficientemente altos por encima de la parte inferior del accesorio para que la muestra despeje los hombros o rodillos cuando el émbolo está en la posición baja.
- El émbolo deberá estar provisto de una base adecuada y de un dispositivo de fijación a la máquina de ensayo para minimizar la deflexión o desalineación.
- Los soportes de los hombros o de los rodillos se pueden ajustar en la dirección horizontal para que se puedan obtener muestras de varios espesores.
- Los soportes de los hombros o de los rodillos se montarán en una base diseñada para mantener los hombros o rodillos centrados y alineados con respecto al émbolo, y minimizar la deflexión o desalineación.
- El radio máximo del émbolo, A, deberá ser el especificado o determinado por la Ec. 1.1 [3].

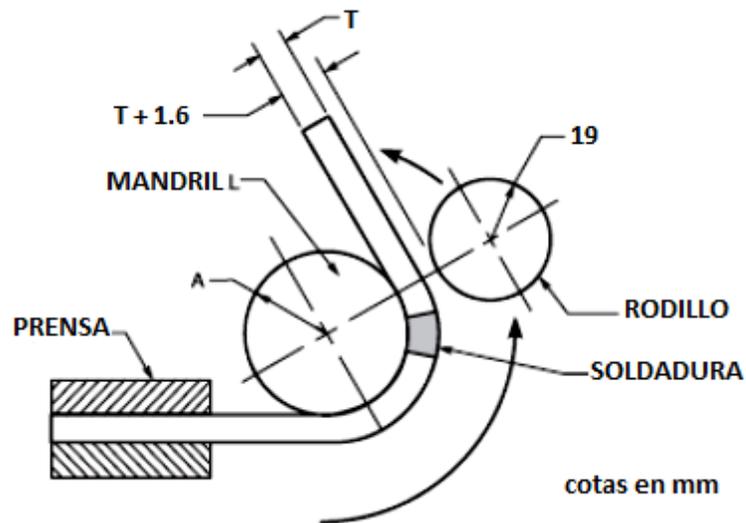


Fig. 1.8. Dispositivo típico para realizar curvatura guiada envolvente [3].

Notas:

- El radio A será el especificado, o determinado por la Ec. 1.1. Las dimensiones no presentadas son a opción del diseñador, excepto la anchura mínima de los componentes, esta será de 50 mm (2 pulg).
- Es esencial tener una rigidez adecuada para que el accesorio de curvatura no se desvíe durante la prueba. El espécimen deberá sujetarse firmemente de un extremo para que no se deslice durante la operación de plegado.
- Las muestras de ensayo se retirarán del dispositivo de curvatura cuando el rodillo haya recorrido 180° desde el punto de partida [3].

El radio del émbolo, A , presentado en las Figs. 1.6 y 1.7 y el mandrill que se presenta en la Fig. 1.8 se especifica o determina a partir de la Ec. 1.1:

$$A = T(50/e - 1/2) \quad (1.1)$$

donde:

A es el radio del mandrill o émbolo de ± 1.6 mm ($\pm 1/16$ pulg);

e es la elongación en la superficie exterior de $\pm 1\%$; y

T es el espesor de la muestra de ± 0.40 mm ($\pm 1/64$ pulg)

Las tolerancias especificadas son para el mecanizado y para permitir el uso de mandriles y émbolos de tamaño estándar. Es importante destacar, que no

es la intención de las tolerancias aumentar deliberadamente el radio mínimo de curvatura más allá del valor calculado [3].

1.2.3. PROBETAS PARA EL ENSAYO

Las probetas para el ensayo de curvatura se prepararán cortando la soldadura y el metal base para formar una probeta rectangular, Superficies con la mayor anchura de soldadura se designará como la cara mientras que la superficie contraria se designará como la raíz [3].

Las probetas pueden tener el cordón de soldadura longitudinal o transversal al eje longitudinal de la probeta [3].

Las probetas transversales pueden tener el lado, la cara o la raíz del cordón de soldadura como la superficie a tracción. Las probetas longitudinales pueden tener la cara o la raíz de la soldadura como la superficie a tracción de la muestra [3].

Cuando las muestras sean mayor a 38 mm (1½ pulg) de ancho para doblarse, el mandril o émbolo debe ser mayor o igual a 6 mm (1/4 pulg) más ancho que el de la muestra [3].

Generalmente se recomienda que para la prueba de flexión el grosor de la muestra, T, sea de 10 mm \pm 0.40 mm (3/8 pulg \pm 1/64 pulg) a menos que el grosor del material, equipo disponible o la especificación aplicable no lo permitan [3].

1.2.4. CURVATURA LATERAL TRANSVERSAL

El eje longitudinal de la probeta es perpendicular a la soldadura, ver figura 1.9, y la muestra se dobla de modo que una de las superficies laterales se convierte en la superficie a tracción de la muestra. El lado que mostrara discontinuidades más significativas (en su caso) será el lado a tracción [3].

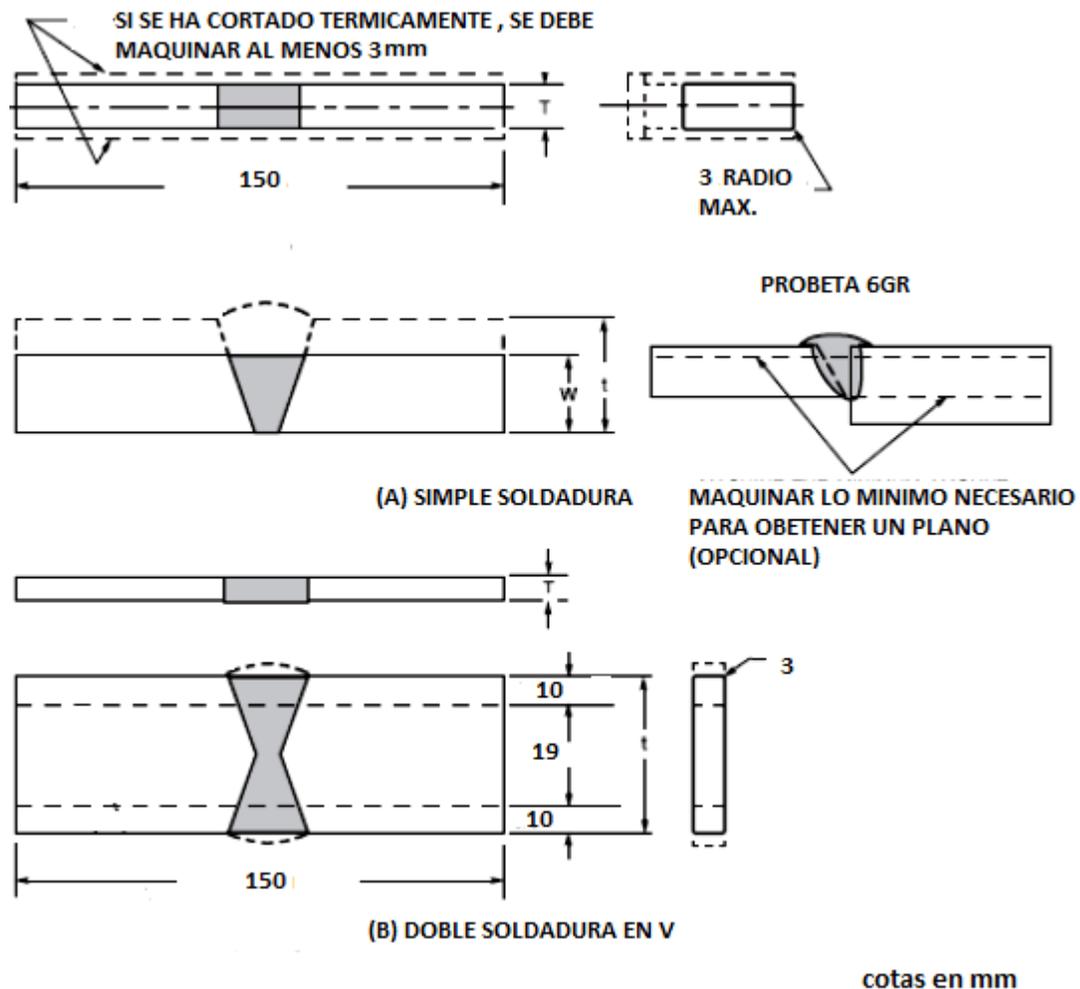


Fig. 1.9. Probeta para curvatura lateral [3].

Notas:

- Si el espesor t de una junta de soldadura de un surco excede de 38 mm (1-1/2 pulg), la muestra puede cortarse en bandas aproximadamente iguales entre 19 mm (3/4 pulg) y 38 mm (1-1/2 pulg) de ancho. Cada tira se someterá a prueba por flexión en el mismo radio especificado determinado por la Ec. 1.1.
- Si el grosor de la placa, t , de una junta de soldadura de doble ranura excede de 38 mm (1-1/2 pulg), la muestra puede cortarse en múltiples tiras de modo que la raíz de la soldadura está centrada en una de las tiras como se muestra. Siempre que sea posible se recomienda que el espesor de la muestra, T , sea de aproximadamente 10 mm (3/8 pulg), teniendo cada muestra una anchura que exceda su espesor. Estas tiras se doblarán al mismo radio especificado o determinado por la Ec. 1.1.
- El refuerzo de soldadura y el soporte, si los hubiere, se retirarán mecánicamente al ras de la superficie de la probeta. Para rendimiento si se dispone de material suficiente, debe eliminarse el recorte aceptable manteniendo las dimensiones de las muestras.

Las probetas de prueba de flexión lateral son utilizados para placas o tuberías demasiado gruesas para realizar doblez transversal de cara o raíz, se recomiendan para soldaduras con zonas de fusión estrechas [3].

1.2.5. CURVATURA TRANSVERSAL DE CARA

El eje longitudinal de la muestra es perpendicular a la soldadura y la muestra se dobla de modo que la cara de la soldadura se convierta en la superficie a tracción [3].

La superficie de la muestra para probetas transversales de flexión de la cara debe cumplir con los requisitos de la Fig. 1.9 para lámina y la Fig. 1.10 para soldaduras de tubería [3].

1.2.6. CURVATURA DE RAÍZ TRANSVERSAL

El eje longitudinal de la muestra es perpendicular a la soldadura y la muestra se dobla de modo que la superficie de raíz de la soldadura se convierte en la superficie a tracción del espécimen.

Las probetas de curvatura de la raíz transversal deberán cumplir con los requisitos de la Fig. 1.10 para lámina y la Fig. 1.11 para soldaduras de tubería [3].

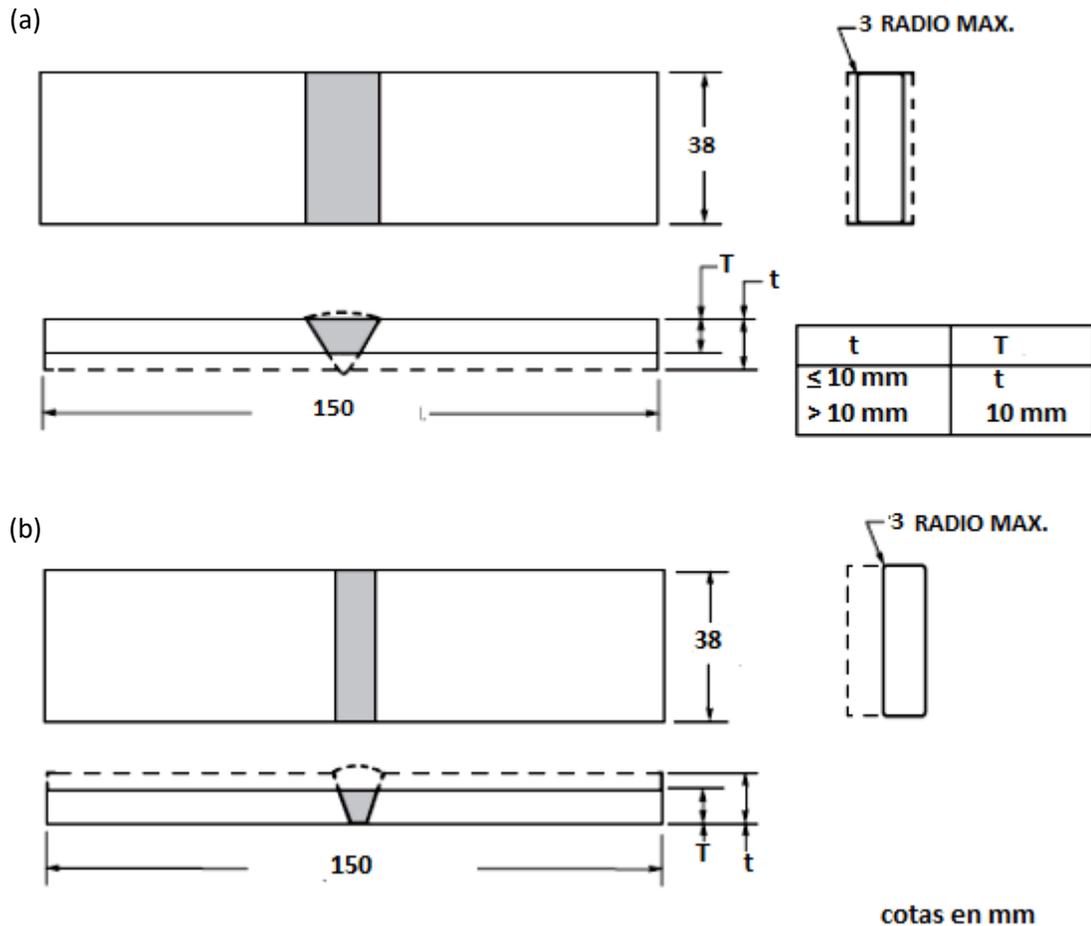


Fig. 1.10. Probetas planas para doblez transversales: (a) de cara y (b) de raíz [3].

Notas:

- Los bordes del espécimen pueden ser cortados térmicamente pero, en este caso, por lo menos 3 mm (1/8 pulg) de material debe ser removido de la superficie cortada térmicamente.
- Para los metales revestidos que tienen un requisito de alargamiento de al menos el 25%, el espesor de la muestra, T, puede reducirse cuando se usa una fijación de radio de curvatura. El espesor de la muestra se determinará mediante la Ec. 1.1.
- Si la soldadura une metales comunes de diferentes espesores, la muestra debe ser reducida a un espesor constante basado en el diluyente metal base.
- A menos que se especifique lo contrario, el refuerzo de soldadura y el soporte, si los hubiera, se retirarán mecánicamente a ras de la superficie de la muestra. Para la calificación del rendimiento, si se dispone de material suficiente, se debe eliminar el recorte aceptable manteniendo dimensiones del espécimen [3].

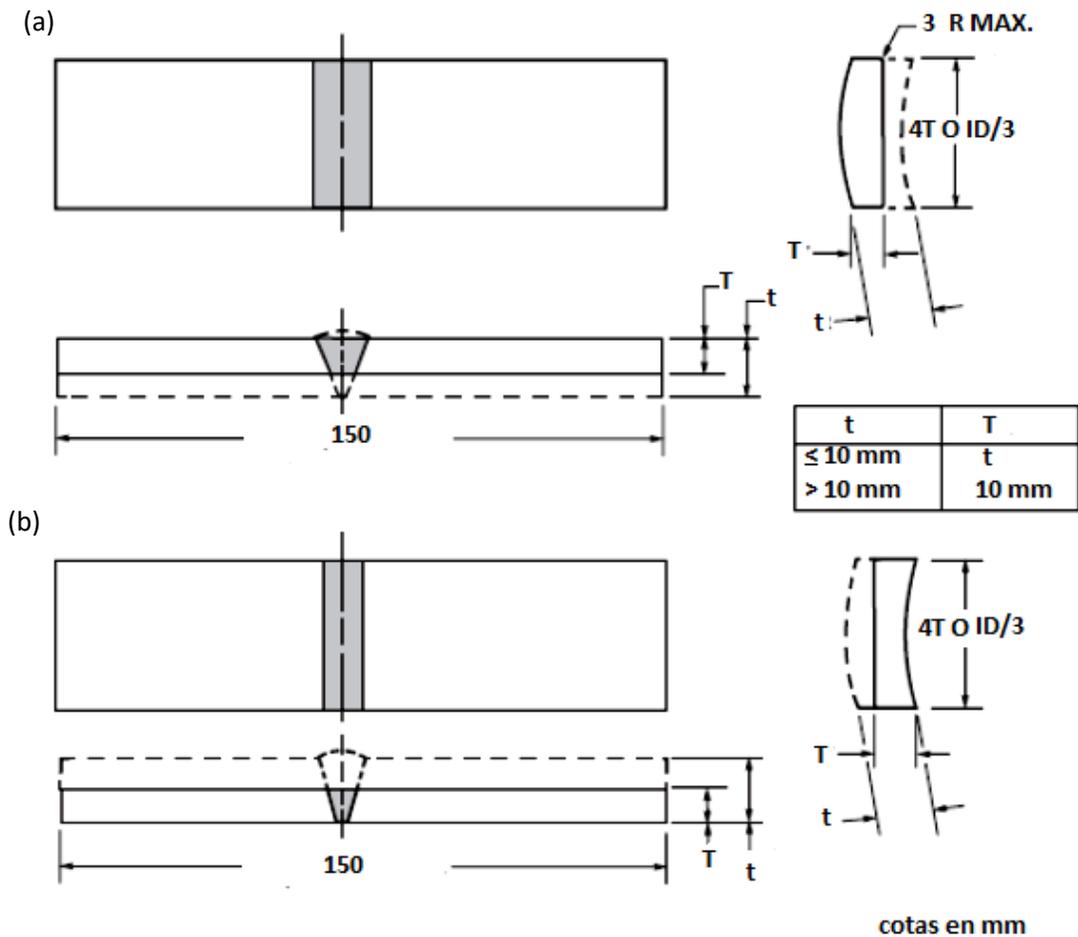


Fig. 1.11. Probetas de tubo para curvaturas transversales: (a) de cara y (b) de raíz [3].

Notas:

- Los bordes del espécimen pueden ser cortados térmicamente pero, en este caso, por lo menos 3 mm (1/8 pulg) de material debe ser removido de las superficies cortadas térmicamente.
- Si la soldadura se une a metales comunes de diferentes espesores, la muestra debe reducirse a un espesor constante basado en el diluyente metal base.
- La anchura de la muestra será de $4T$, excepto que no excederá de $ID / 3$, donde ID es el diámetro interior de la tubería.
- El refuerzo de soldadura y el soporte, si los hubiere, deberán retirarse mecánicamente a ras de la superficie de la muestra. Si la parte posterior de la junta está rebajada, esta superficie del espécimen puede ser retirada a una profundidad que no exceda el rebaje. Para la calificación de rendimiento, si se dispone de material suficiente, se debe quitar el recorte aceptable mientras se mantienen las dimensiones de las muestras [3].

1.2.7. CURVATURA LONGITUDINAL DE CARA

El eje longitudinal de la muestra es paralela a la soldadura y la muestra se dobla de modo que la cara de la soldadura se convierte en la superficie a tracción de la muestra. Las probetas longitudinales deberán ajustarse a los requisitos de la Fig. 1.12 [3].

1.2.8. CURVATURA LONGITUDINAL DE RAÍZ

El eje longitudinal de la muestra es paralela a la soldadura y la muestra es doblada de modo que la raíz de la soldadura se convierta en la superficie de tensión de la muestra. Las probetas longitudinales deberán cumplir con los requisitos de la Fig. 1.12 [3].

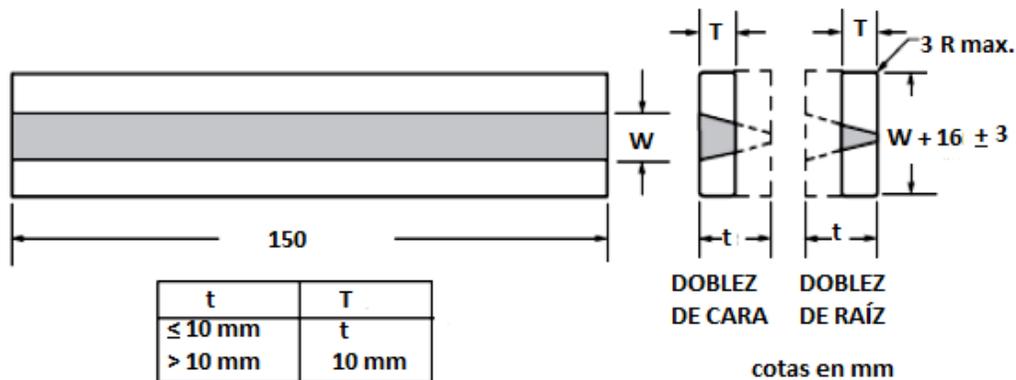


Fig. 1.12. Probeta para curvatura longitudinal de cara o raíz [3].

Notas:

- Los bordes de la muestra pueden ser cortados térmicamente, pero en este caso, se retirará mecánicamente al menos 3.2 mm (1/8 pulg). superficie cortada térmicamente.
- Si la soldadura se une a metales comunes de diferentes espesores, la muestra debe reducirse a un espesor constante basado en el diluyente metal base.
- El refuerzo de soldadura y el soporte, si los hubiere, deberán retirarse mecánicamente a ras de la superficie del espécimen. Para rendimiento si se dispone de material suficiente, debe eliminarse el recorte aceptable manteniendo las dimensiones de las muestras.
- Todas las superficies longitudinales no deben ser más ásperas que 3 μm (0.000125 pulg) Ra. Se recomienda que la disposición de la superficie. La rugosidad debe ser orientada paralelamente al eje del espécimen [3].

1.2.9. CURVATURA DE RAÍZ DE SOLDADURA DE FILETE

La raíz de soldadura del filete de la muestra de ensayo se soldará y preparará como se presenta en la Fig. 1.13. La raíz de la soldadura será la superficie de tensión de la muestra. La prueba de flexión de raíz de soldadura es una alternativa a la prueba de ruptura de la soldadura de filete en algunos códigos y especificaciones [3].

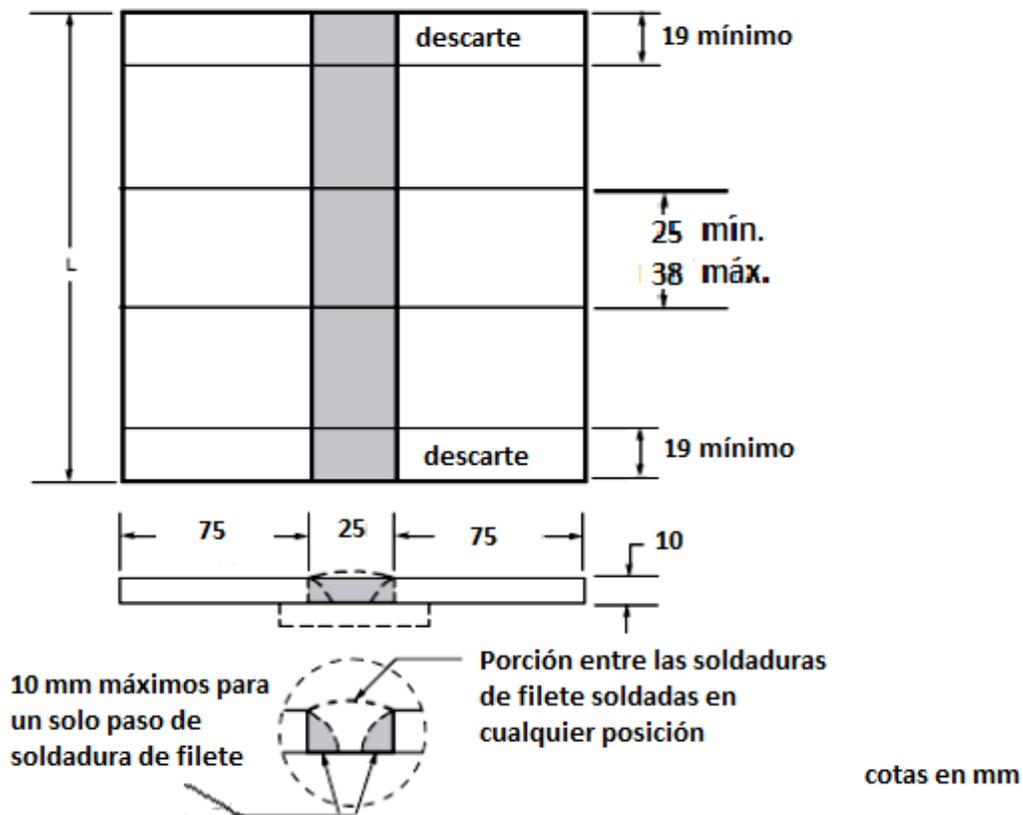


Fig. 1.13. Probeta para curvatura de raíz de soldadura de filete [3].

Notas:

- El respaldo deberá tener un mínimo de 10 x 50 mm (3/8 x 2 pulg) A menos que la soldadura de prueba sea inspeccionada radiográficamente, en cuyo caso la placa de respaldo debe tener un mínimo de 10 x 76 mm (3/8 x 3 pulg). La barra de apoyo deberá estar en contacto íntimo con la placa base.
- La longitud de la placa de ensayo L deberá ser suficiente para el número de muestras requerido. Los especímenes se retirarán mecánicamente de la placa de prueba.
- El refuerzo de soldadura y la placa de soporte deben ser removidos mecánicamente, alineados con la placa de base.
- Todas las superficies longitudinales no deben ser más ásperas que 3 μm (0.000125 pulg). Se recomienda que la rugosidad se orientará paralelamente al eje longitudinal de la muestra [3].

1.2.10. PROBETAS DE SOLDADURA DE SUPERFICIES

La cara se dobla y las muestras de doblado lateral para las soldaduras deben cumplir con los requisitos de la Fig. 1.14. El largo de la probeta de doblado transversal debe ser perpendicular a la dirección de soldadura; La muestra de doblado longitudinal debe ser paralela a la dirección de la soldadura [3].

La soldadura será la superficie de tensión de la muestra de doblado de cara [3].

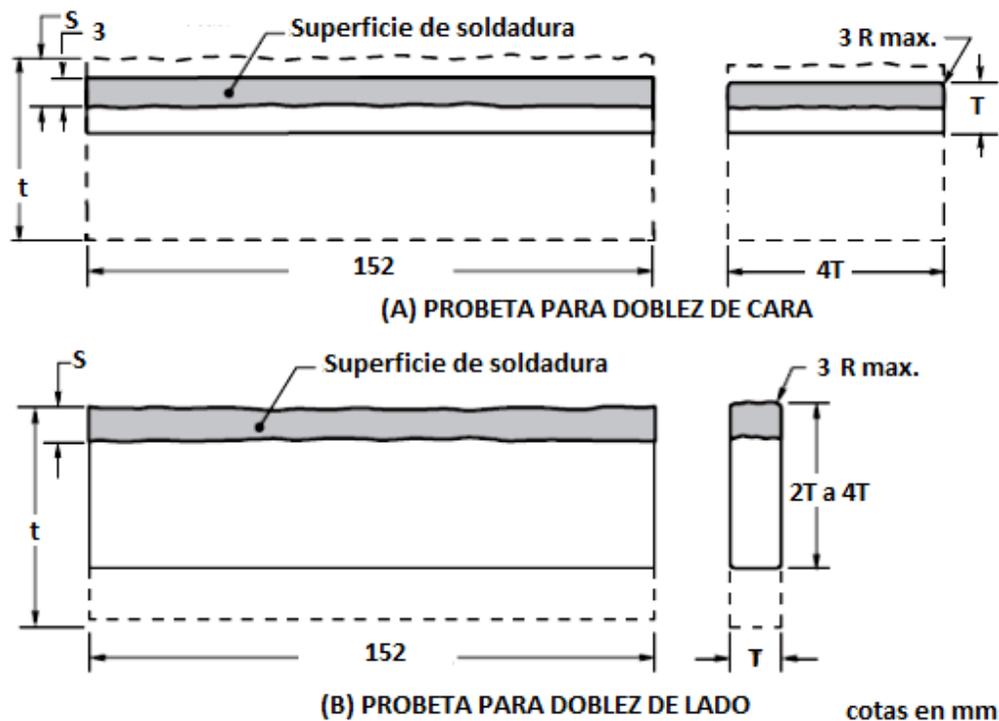


Fig. 1.14. Probetas de soldadura de superficies [3].

Notas:

- La dimensión T es el espesor de la probeta y debe ser de 10 mm (3/8 pulg), a menos que se especifique lo contrario.
- Para el ensayo de flexión longitudinal, el eje longitudinal de la probeta deberá ser paralelo a la dirección de soldadura. Para la prueba de flexión transversal, el largo del eje longitudinal debe ser perpendicular a la longitud de la dirección de soldadura de la muestra de ensayo.
- La cantidad de soldadura de superficie removida de la superficie del espécimen de doblado de la cara será la mínima necesaria para obtener una superficie lisa. El grosor mínimo de la soldadura superficial después del acabado será de 3 mm. (1/8 pulg).
- Todas las superficies longitudinales no deben ser más ásperas que $3 \mu\text{m}$ (0.000125 pulg). Se recomienda que la disposición de la superficie la rugosidad se orienta con el eje longitudinal de la muestra [3].

1.2.11. PROBETA PARA CURVATURA LONGITUDINAL DE SOLDADURA DE FILETE

Las probetas de prueba de flexión longitudinal de soldadura de filete se preparan haciendo dos soldaduras de filete en una junta en T y mecanizado como se presenta en la Fig. 1.15. La soldadura de filete estará en la superficie a tracción de la muestra [3].

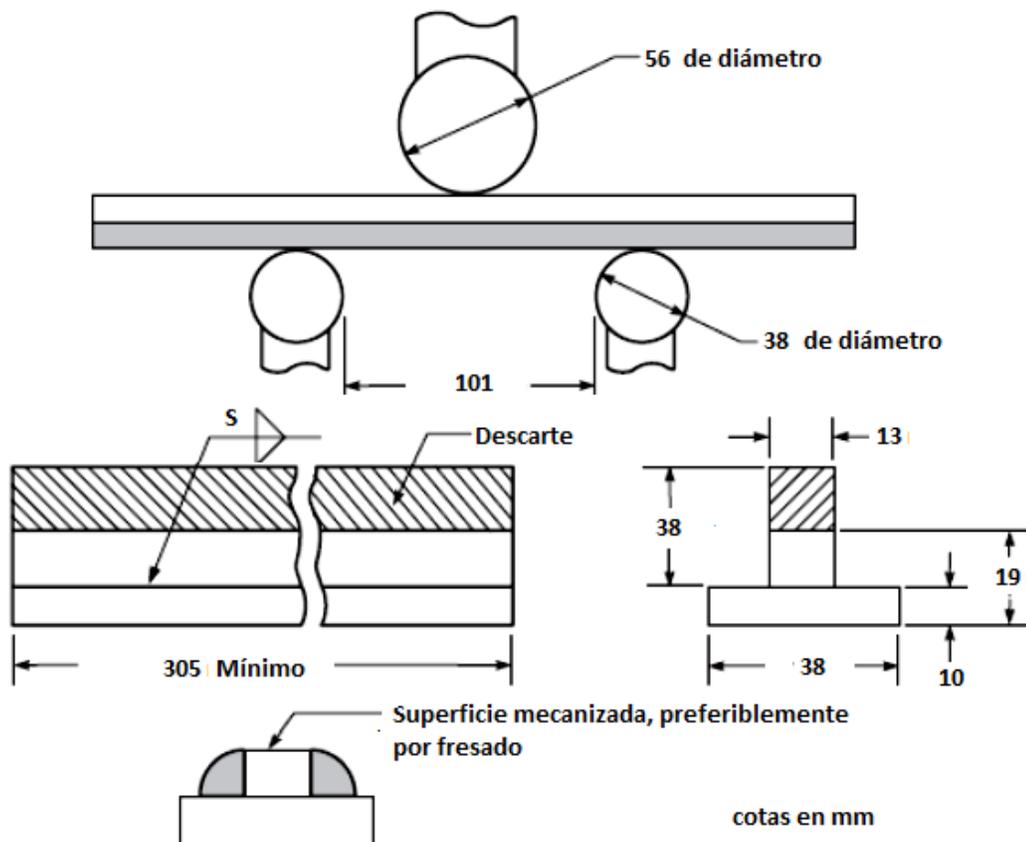


Fig. 1.15. Probeta longitudinal para curvatura de soldadura de filete [3].

Notas:

- El diámetro del mandril mostrado es para un espécimen máximo de 19 mm (3/4 pulg) de espesor.
- Pueden utilizarse otros espesores de la chapa inferior y el tamaño de la pata de soldadura de filete, siempre que el diámetro del mandril no exceda de 3 veces el espesor del espécimen. En estos casos, el espacio de apoyo debe ser el diámetro del mandril más el doble del espesor de la muestra más 6 mm (1/4 pulg).
- El acabado superficial de la superficie de tensión no debe ser más áspero que $3 \mu\text{m}$ (0.000125 pulg) Ra.
- El tamaño de la soldadura de filete debe ser de 8 mm a 13 mm (5/16 pulg a 1/2 pulg) [3].

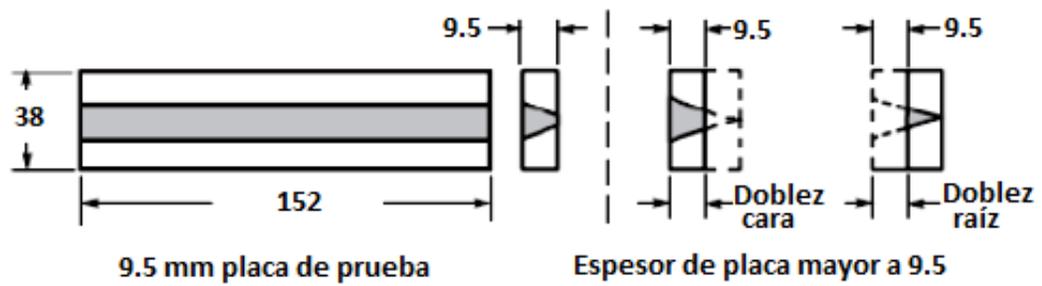
1.3 RESULTADOS REQUERIDOS PARA LA PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

En todas las pruebas de doblez guiado, la superficie convexa de los especímenes de prueba de doblez deben ser examinados visualmente para evaluar las discontinuidades superficiales. Así para aceptar la superficie se debe de cumplir con los siguientes criterios:

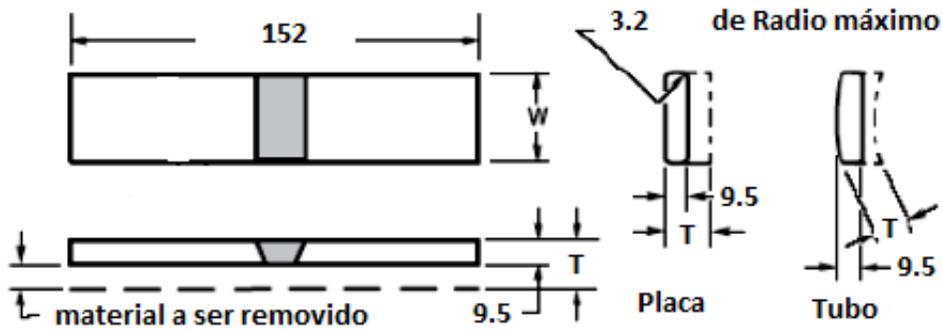
- a) Una simple discontinuidad no debe exceder 3.2 mm (1/8 pulg) medida en cualquier dirección.
- b) La suma de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades entre 0.8 mm y 3.2 mm (1/32 pulg y 1/8 pulg) no deben exceder 9.5 mm (3/8 pulg).
- c) Las fisuras en los bordes no deben exceder 6.4 mm (1/4 pulg) al menos que las fisuras resulten de inclusiones de escoria visibles u otro tipo de discontinuidades por fusión, entonces 3.2 mm (1/8 pulg) debe aplicar como máximo [4].

Los especímenes con fisuras en los bordes excediendo 6.4 mm (1/4 pulg) sin evidencia de inclusiones de escoria u otro tipo de discontinuidades por fusión, deben ser desechadas y debe ser ensayado un nuevo espécimen (de reemplazo) de prueba del elemento soldado originalmente [4].

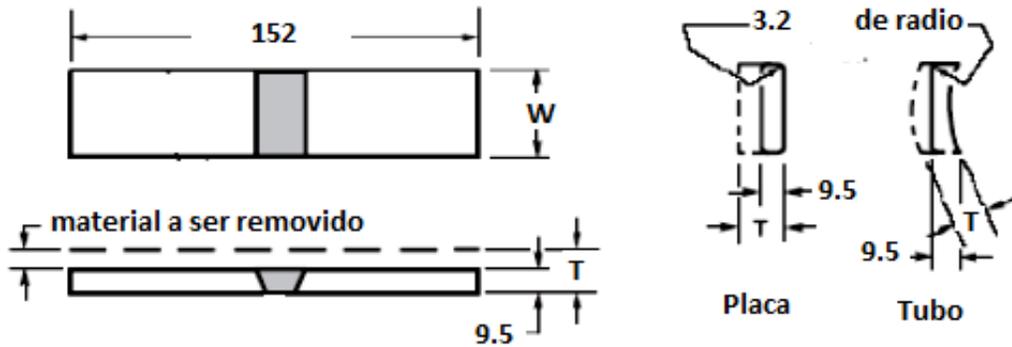
Los criterios anteriores son válidos para las dimensiones de probetas que se presenta en la Fig. 1.16.



PROBETA DE DOBLEZ LONGITUDINAL



PROBETA DE DOBLEZ DE CARA



PROBETA DE DOBLEZ DE RAÍZ

cotas en mm

Fig. 1.16. Dimensiones recomendadas de probetas para las cuales se aplican criterios de evaluación [4].

2. DISEÑO DE ACCESORIOS

Cuando se necesita diseñar un herramental que involucre cualquier transformación, es de vital importancia conocer que características tendrá el proceso, de esta manera se puede determinar la fuerza y la energía que se requieren, y así poder dimensionar y seleccionar los materiales más adecuados para esta operación [5].

2.1. DIMENSIONES DE ELEMENTOS PARA REALIZAR DOBLEZ EN U DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM E-190

En la Tabla 2.1 se presenta las dimensiones necesarias de una máquina de doblez en U para cumplir con la normativa ASTM E-190, aunque lo que se pretende realizar es transformar una prensa hidráulica en una máquina de doblez, a partir del diseño y fabricación de accesorios para el doblez de varios espesores de placas. Así, se ha tenido el cuidado de obtener las dimensiones de la curvatura del doblez en U según el espesor de la placa o probeta, de acuerdo a lo que la norma ASTM E-190 especifica.

Tabla 2.1 Dimensiones de émbolo y distancia entre apoyos para realizar doblez en U a diferentes espesores de probeta.

Espesor de probeta, mm (pulg)	Distancia entre rodillos de apoyo, mm (pulg)	Radio de émbolo, mm (pulg)	Diámetro de rodillos de apoyo, mm (pulg)
3.18 (1/8)	60.36 (2 ³ / ₈)	27 (1 ¹ / ₁₆)	≥38 (1 ¹ / ₂)
6.35 (1/4)	60.36 (2 ³ / ₈)	23 (29/32)	≥38 (1 ¹ / ₂)
9.53 (3/8)	60.36 (2 ³ / ₈)	19 (3/4)	≥38 (1 ¹ / ₂)

Básicamente los accesorios a fabricar son rodillos y émbolos, y la configuración de operación está descrita en al Fig. 2.1.

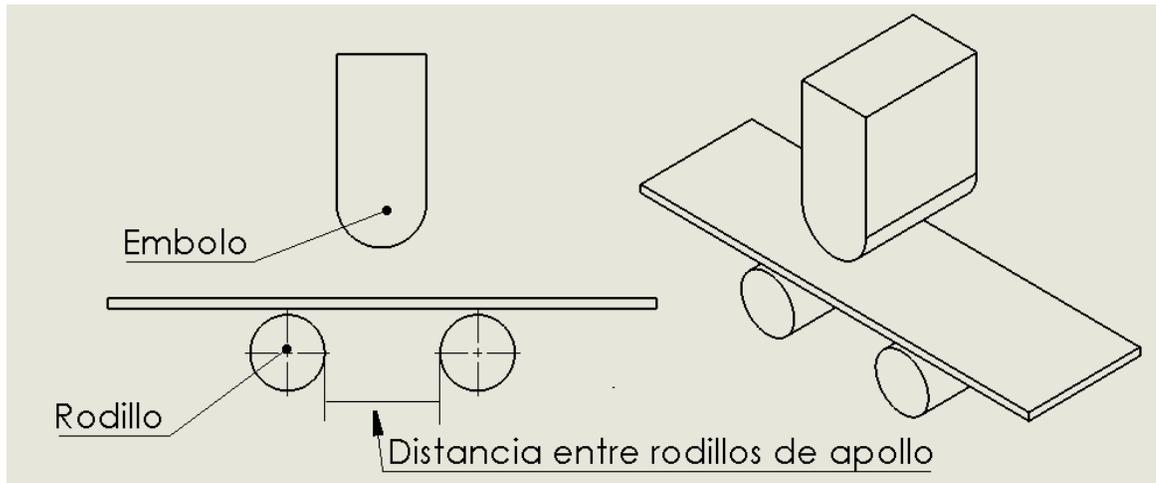


Fig. 2.1. Mecanismo básico de cómo se realizará el doblé en U.

2.2. ANÁLISIS DE CARGA Y ENERGÍA PARA REALIZAR DOBLECES EN U

A continuación se da a conocer las fórmulas necesarias para el proceso de doblé en U, ver ecuación 2.1-2.4, estas fórmulas ayudaran a realizar los cálculos para realizar el diseño de los accesorios.

Es importante aclarar que la máquina de doblé que se pretende transformar a partir de la prensa hidráulica y los accesorios a fabricar, es diferente al modelo que a continuación se presenta, pues la máquina no poseerá cojín de apoyo (elemento en donde se ubica un resorte según la Fig. 2.2) ni tampoco matriz, el doblé se realizará mediante un punzón o émbolo que aplicará la fuerza y dos rodillos que servirán como puntos de apoyo y guía, como se presenta en la Fig. 2.1. Sin embargo estas fórmulas se pueden aplicar en el diseño de los accesorios que se acoplarán a la prensa hidráulica, lo cual constituirá la máquina para realizar dobleces en U, tal como se presenta a continuación:

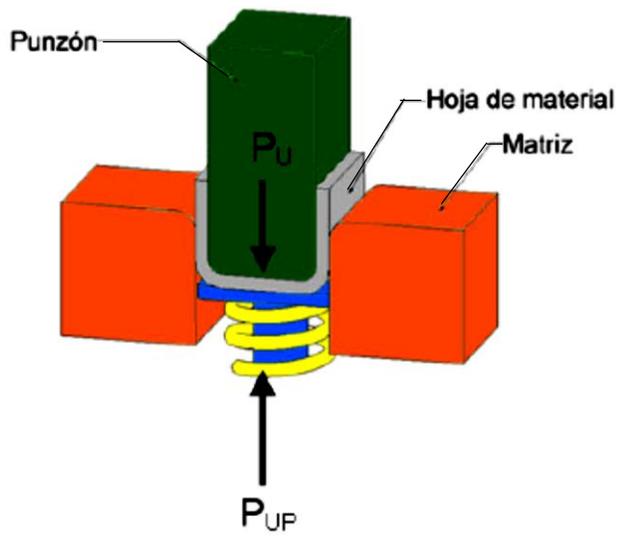


Fig. 2.2. Estructura del herramental básico presentado por el JICA y CIDESI para doblado en U [5].

a) Fuerza requerida para la transformación

$$P_U = k_3 * \sigma_B * t * w \quad [kN] \quad (2.1)$$

donde:

P_U es la fuerza para realizar el doblado en "U" en kN,

K_3 es una constante experimental para cálculo de fuerza 0.4 [u.a.],

σ_B es la resistencia a la tracción (30 kgf/mm², para acero A36)

t es el espesor del material en mm, y

w es el ancho del doblado en mm.

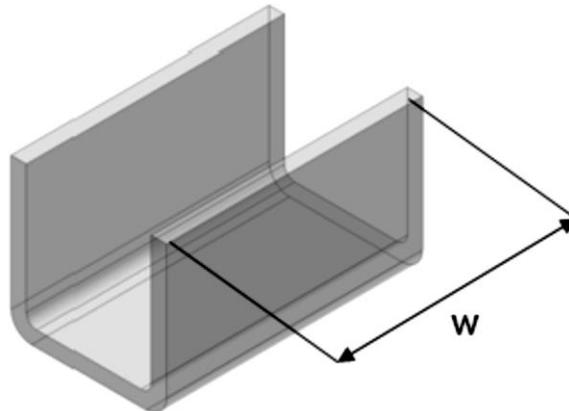


Fig. 2.3. Longitud del doblado en U [5].

b) Fuerza necesaria para el cojín

$$P_{UP} = \left[\frac{1}{4} \approx \frac{1}{3} \right] P_U \quad [kN] \quad (2.2)$$

donde:

P_U es la fuerza para la transformación en kN.

c) Fuerza total

$$P_{UT} = (P_u + P_{UP}) \quad [kN] \quad (2.3)$$

donde:

P_{UT} es la fuerza total en kN.

d) Energía requerida para la transformación

$$E_U = (P_{UT} * h_U * k_4) \quad [kg_f * m] \quad (2.4)$$

donde:

E_U es la energía requerida para el doblado en U en J,

h_U es la longitud de carrera para la transformación en mm.

k_4 es constante experimental para el cálculo de la energía igual a 0.6 [u.a.].

e) Características de la transformación

Condiciones para la transformación

$$5 > \frac{r_P}{t} > 0.0085 \frac{\sigma_B}{e} + 0.5 \quad (2.5)$$

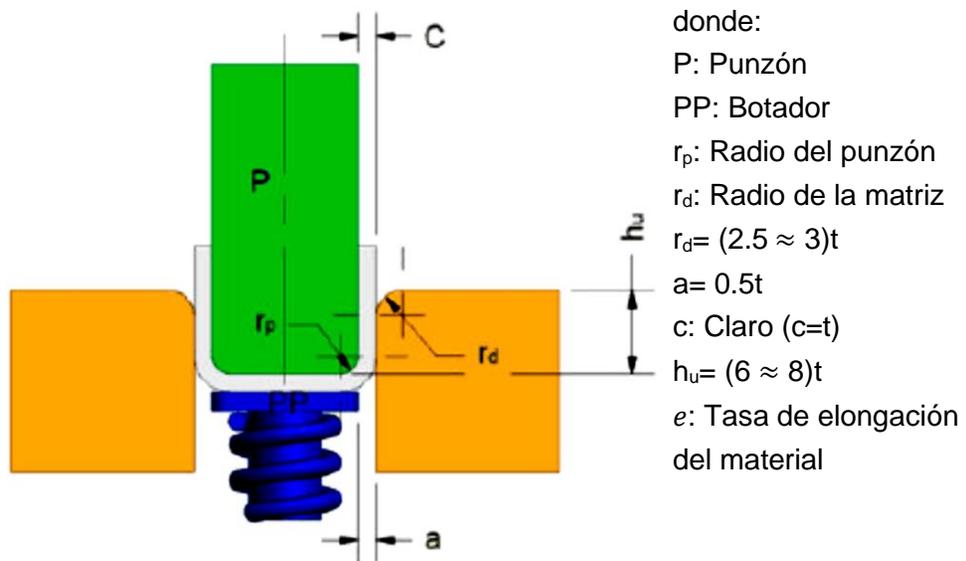


Fig. 2.4. Condiciones de la estructura del herramiental para realizar doblés en U [5].

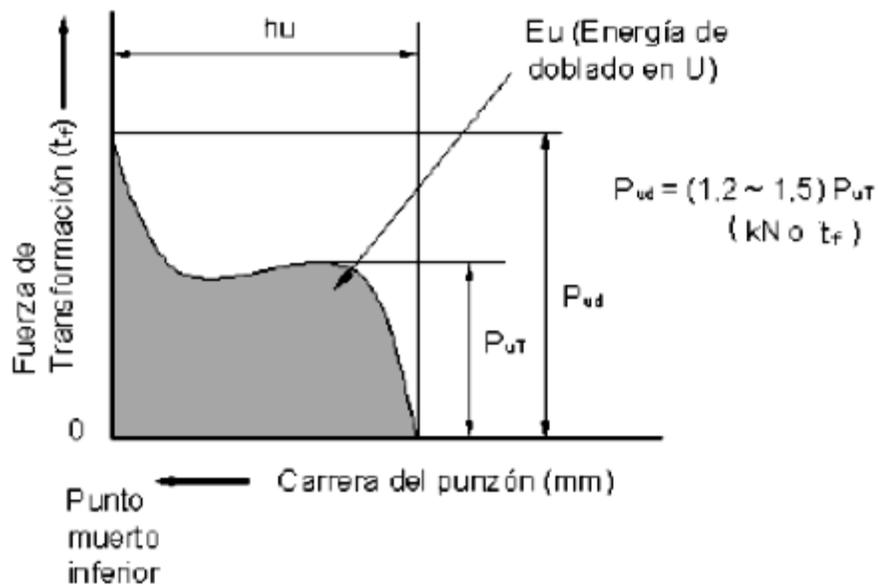


Fig. 2.5. Gráfica Fuerza – Doble en U [5].

A continuación se realiza el cálculo de esfuerzo y energía necesaria para realizar el doble en U a pletinas con las dimensiones especificadas en la Tabla 2.1.

El material en el cual se realizarán las probetas será acero ASTM A-36 ya que es de este material que están fabricados la mayoría de elementos comerciales como ángulos, láminas, pletinas entre otros. El acero A-36 posee una resistencia a la tracción de entre 25 y 35 kgf/mm².

- Cálculo para probeta de t igual a 3.2 mm (1/8 pulg) y w igual a 38 mm (1 1/2 pulg)

$$P_U = \frac{0.4 * 35 * 3.2 * 38}{1000} = 1.7024 \text{ tf} = 16.7005 \text{ kN}$$

$$P_{UP} = 0$$

$$P_{UT} = (1.7024 + 0) = 1.7024 \text{ tf} = 16.7005 \text{ kN}$$

Para el cálculo de la energía necesaria se debe conocer h_u que es el desplazamiento que debe tener el émbolo desde que inicia la carga hasta terminar el doblado y es estimado entre 6 a 8 el espesor del material a doblar, por lo tanto:

$$h_u = 8(3.2) = 25.6 \text{ mm}$$

Calculando la energía necesaria para realizar el doblado

$$E_U = 1.7024 * 25.6 * 0.6 = 26.4487 \text{ kg}_f.m$$

- Cálculo para probeta de t igual a 6.4 mm (1/4 pulg) y w igual a 38 mm (1 1/2 pulg)

$$P_U = \frac{0.4 * 35 * 6.4 * 38}{1000} = 3.4048 t_f = 33.4011 \text{ kN}$$

$$P_{UP} = 0$$

$$P_{UT} = (3.4048 + 0) = 3.4048 t_f = 33.4011 \text{ kN}$$

$$h_u = 8(6.4) = 51.2 \text{ mm}$$

Calculando la energía necesaria para realizar el doblado

$$E_U = 3.4048 * 51.2 * 0.6 = 104.5055 \text{ kg}_f.m$$

- Cálculo para probeta de t igual a 9.5 mm (3/8 pulg) y w igual a 38 mm (1 1/2 pulg)

$$P_U = \frac{0.4 * 35 * 9.5 * 38}{1000} = 5.054 t_f = 49.5797 \text{ kN}$$

$$P_{UP} = 0$$

$$P_{UT} = (5.054 + 0) = 5.054 t_f = 49.5797 \text{ kN}$$

$$h_u = 8(9.5) = 76 \text{ mm}$$

Calculando la energía necesaria para realizar el doblado

$$E_U = 5.054 * 76 * 0.6 = 230.4624 \text{ kg}_f \cdot \text{m}$$

Para seleccionar adecuadamente una prensa se debe realizar a partir de la fuerza necesaria para doblado en U de diseño P_{UD} , esta fuerza está entre 120% y 150% de la fuerza total para realizar doblado en U P_{UT} , ver tabla 2.2.

Tabla 2.2. Fuerzas totales y fuerzas de diseño para realizar doblado en U para diferentes dimensiones de probetas.

Dimensiones de perfil	3.2 x 38 mm (1/8 x 1 1/2 pulg)	6.4 x 38 mm (1/4 x 1 1/2 pulg)	9.5 x 38 mm (3/8 x 1 1/2 pulg)
P_{UT} , kN (t_f)	16.7005 (1.7024)	33.4011 (3.4048)	49.5797 (5.054)
P_{UD} , kN (t_f)	25.0421 (2.5536)	50.08043 (5.1072)	74.3438 (7.581)

A partir de los datos de la Tabla 2.2 se puede determinar que la prensa de 12 toneladas fuerza, con la que cuenta la Escuela de Ingeniería Mecánica para el trabajo de graduación, tiene la capacidad necesaria para realizar doblado en U a las dimensiones de probetas que se han considerado.

Con la Ec. 2.5 se evalúa si las condiciones para realizar doblado son óptimas para los tres espesores de probeta que se estudiarán, así:

- Para t igual a 3.18 mm (1/8 pulg)

$$5 > \frac{27}{3.2} > 0.0085 \frac{35}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 8.44 > 1.99$$

No se cumple la desigualdad.

- Para t igual a 6.35 mm (1/4 pulg)

$$5 > \frac{23}{6.4} > 0.0085 \frac{35}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 3.59 > 1.99$$

- Para t igual a 9.53 mm (3/8 pulg)

$$5 > \frac{19}{9.5} > 0.0085 \frac{35}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 2 > 1.99$$

A partir de los resultados anteriores se puede concluir que bajo la ecuación que presenta el JICA y CIDESI las dimensiones para dobléz en U para la probeta de 3.18 mm no son óptimas, pero se mantendrán por que el objetivo no es lograr un buen dobléz sino evaluar la soldadura que será realizada a la probeta.

Para las probetas de 6.35 mm y 9.53 mm las dimensiones de la curva a realizar son óptimas, por lo tanto se espera realizar el ensayo de dobléz en U sin inconvenientes y poder evaluar la ductilidad de las soldaduras.

2.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y DIMENSIONAMIENTO DE ACCESORIOS PARA MÁQUINA DE DOBLEZ EN U.

El análisis de esfuerzos en los accesorios y su correcto dimensionamiento son la base, para la selección del material con que se fabricará cada elemento y

esto a su vez es de vital importancia, tanto para la seguridad del operario, como para los resultados del ensayo de doblez en U, es por lo anterior que a continuación se detalla los elementos, sus esfuerzos, dimensiones y el material del cual serán fabricados.

2.3.1. EJES DE RODILLOS DE APOYO

Los rodillos de apoyo son elementos donde se producen los esfuerzos críticos, ya que la fuerza que la prensa hidráulica ejerza a la probeta provocará un esfuerzo de flexión en los ejes de estos rodillos, en la Fig. 2.6 se puede apreciar el elemento mencionado.

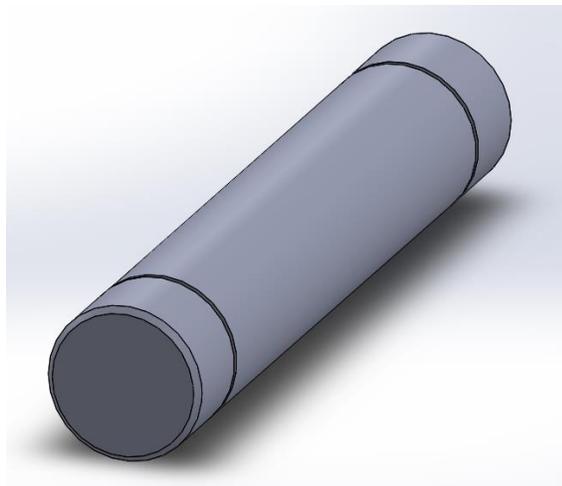


Fig. 2.6. Eje de rodillo.

Debido a las dimensiones de la prensa hidráulica, los ejes de los rodillos serán de 135 mm de largo y un diámetro de 25 mm y se realizará un análisis de esfuerzos para determinar el material adecuado y si las dimensiones establecidas son viables.

El doblez en U para la probeta de 9.5 mm es el que mayor fuerza necesita para realizar la transformación, la fuerza de diseño (P_{UD}) es de 74.344 kN (7.581 tf), pero esta fuerza se dividirá en dos debido a que son dos rodillos de apoyo ubicados simétricamente respecto al punto de aplicación de la fuerza, por ende

cada rodillo deberá soportar 37.172 kN distribuidos a lo largo de 90 mm, cada rodillo soportará una carga distribuida de 413.022 kN/m que será transmitida a su eje.

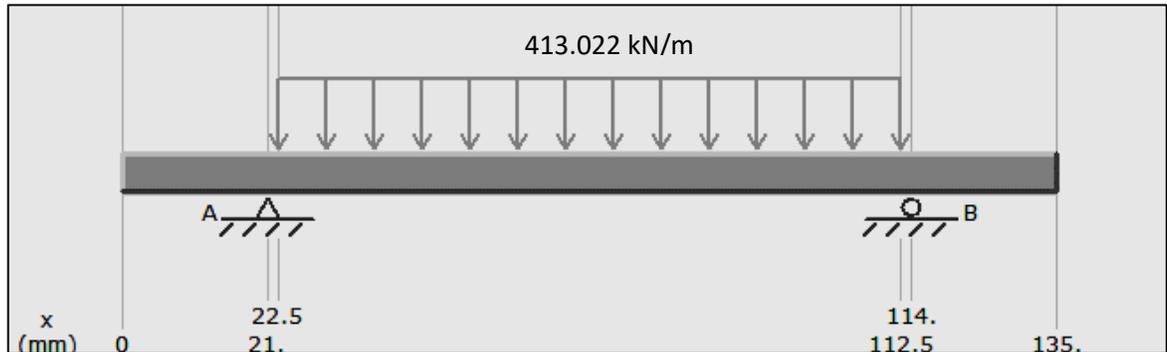


Fig. 2.7. Diagrama de carga para el eje de rodillo de apoyo.

Esta carga distribuida genera reacciones de 18.59 kN dando como resultado fuerzas cortantes que se distribuyen como se observa en el diagrama de la Fig. 2.8.

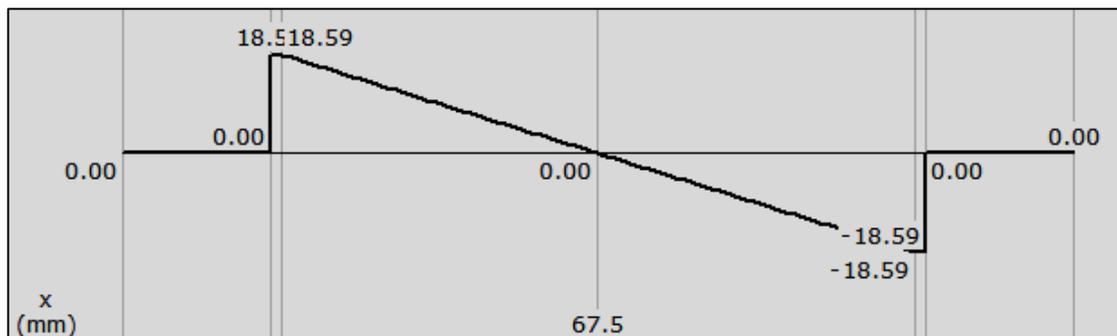


Fig. 2.8. Diagrama de cortante para eje de rodillo de apoyo (cargas en kN).

Pero el tipo de esfuerzo más crítico en los ejes de los rodillos es el de flexión, el momento máximo se produce en el centro de las piezas y tiene un valor de 0.4461 kN·m como se observa en el diagrama de la Fig. 2.9.

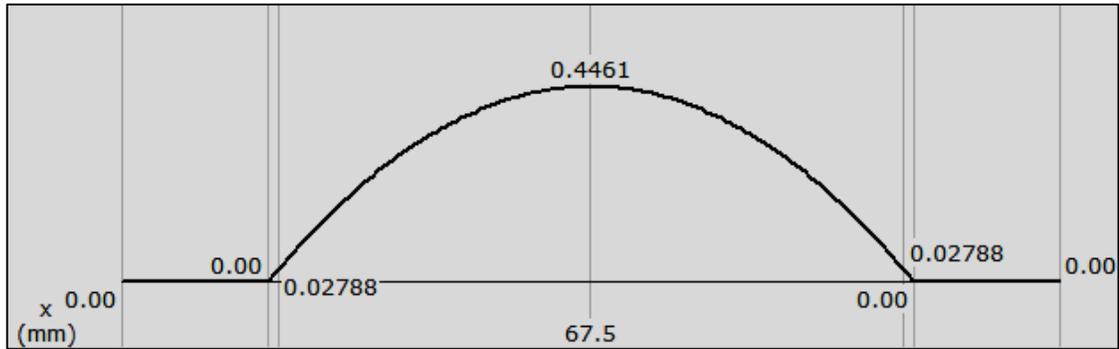


Fig. 2.9. Diagrama de momento para eje de rodillo de apoyo (momentos en kN·m).

Los ejes se han dimensionado de 25 mm de diámetro y a partir de los resultados del análisis de esfuerzos se pretende seleccionar el material más adecuado que exista en el mercado salvadoreño.

Debido a la flexión se generan esfuerzos normales que son máximos en la superficie y cuyo valor es de 296.903 MPa.

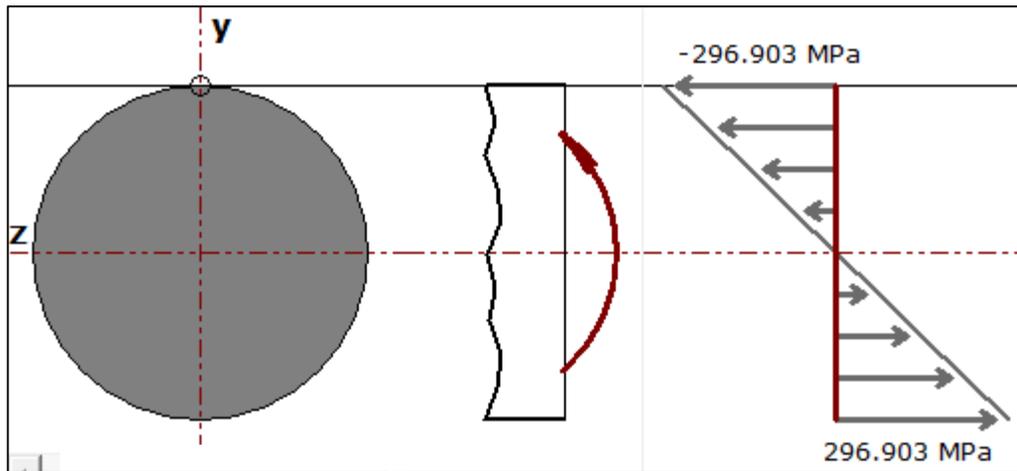


Fig. 2.10. Esfuerzos normales provocados por el momento máximo en el eje de rodillo de apoyo.

A partir del esfuerzo normal máximo y utilizando el círculo de Mohr's se calculan los esfuerzos principales.

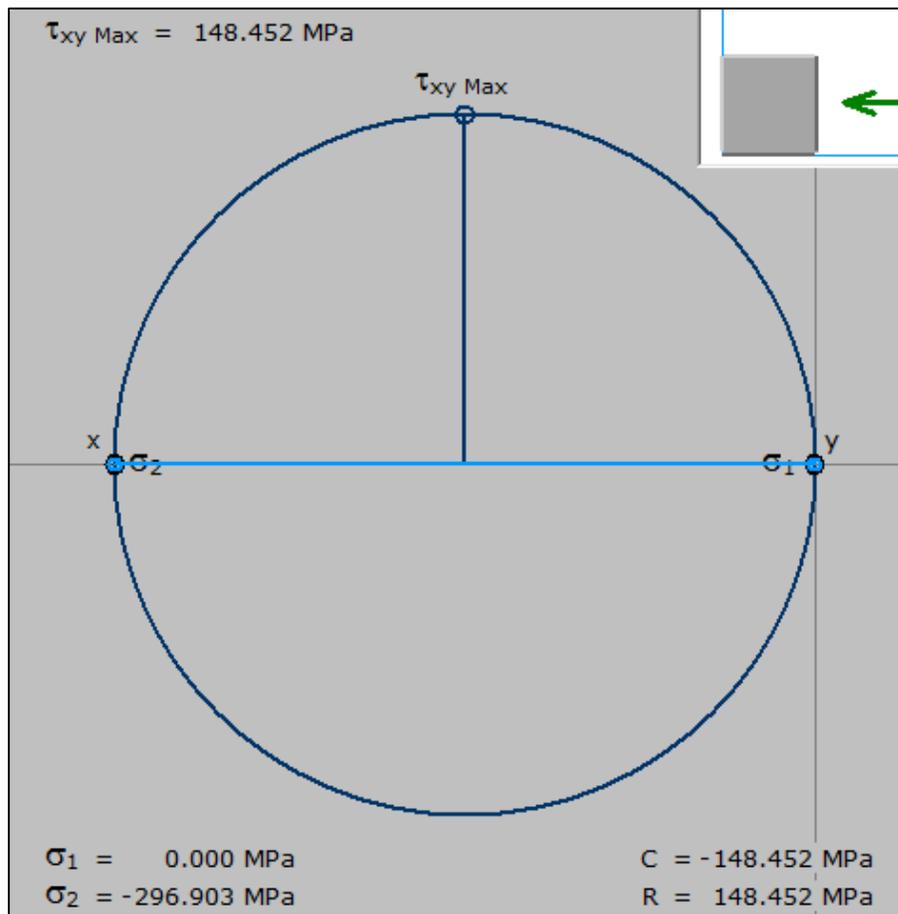


Fig. 2.11. Diagrama de círculo de Mohr's para sección transversal de eje de rodillo de apoyo.

Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo la cual indica que la fluencia en una pieza inicia cuando el esfuerzo cortante máximo se iguala al esfuerzo de fluencia del material, ver ecuación 2.6.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad (2.6)$$

donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$ es el esfuerzo cortante máximo

σ_1 y σ_2 son los esfuerzos principales

S_y es el esfuerzo de fluencia.

Sustituyendo:

$$148.452 \text{ MPa} \geq \frac{S_y}{2}$$

Entonces para evitar la falla en los ejes de los rodillos, el esfuerzo de fluencia debe ser:

$$S_y \geq 296.903 \text{ MPa}$$

Para cumplir dicha condición se selecciona el acero SAE 4340 el cual posee un esfuerzo de fluencia igual a 606.667 MPa.

2.3.2. RODILLOS DE APOYO

Los rodillos de apoyo mostrado en la Fig. 2.12 son cilindros con un largo de 90 mm, un diámetro externo de 39.30 mm y un diámetro interno de 25.00 mm los cuales estarán sometidos a cargas producidas por el contacto con la probeta a doblar generándose en el interior del elemento esfuerzos de contacto.

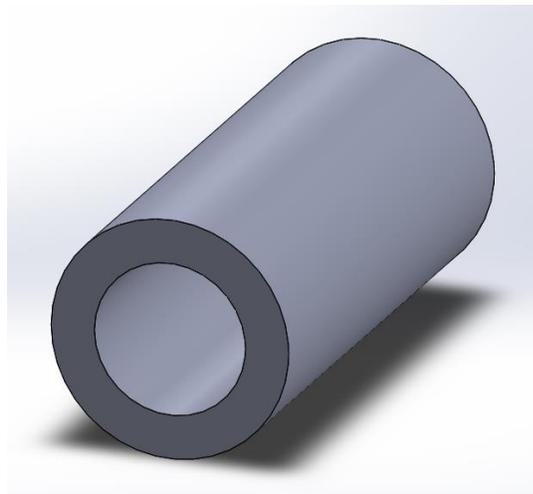


Fig. 2.12. Rodillo de apoyo.

Los esfuerzos de contacto ocurren en elementos de máquinas cuando se transmiten cargas a través de superficies que presentan contactos puntuales o a lo largo de una línea. Si los elementos fueran totalmente rígidos, las áreas de

contacto permanecerían nulas y los esfuerzos que aparecerían serían infinitos [6].

Debido a la elasticidad de los materiales, éstos se deforman bajo la acción de las cargas, produciéndose áreas finitas de contacto. Debido a que estas áreas son muy pequeñas, aparecen grandes esfuerzos. Por lo tanto, a pesar de que los elementos sometidos a esfuerzos de contacto puedan tener suficiente resistencia mecánica por volumen, tienden a fallar en la pequeña zona de contacto, en donde los esfuerzos son muy altos [6].

Los esfuerzos de contacto pueden ocurrir entre dos elementos ambos convexos, uno convexo y el otro cóncavo o uno convexo y el otro plano, tal como se presenta en la Fig. 2.13 [6].

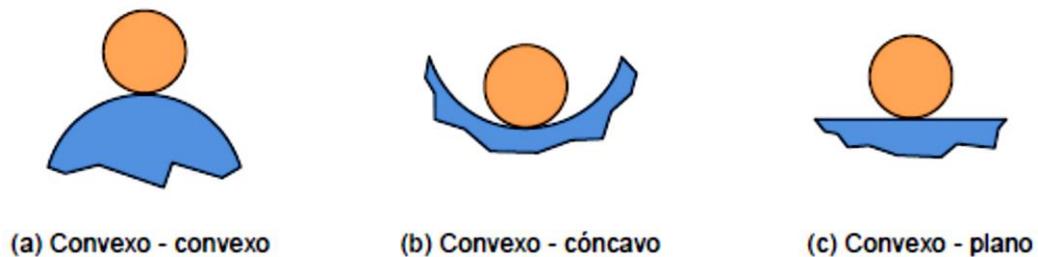


Fig. 2.13. Tres tipos de contacto [6].

Las ecuaciones que se utilizarán para el cálculo de esfuerzos en los rodillos son válidas para cargas normales en las superficies de contacto tal como se presenta en la Fig. 2.14, en reposo. Para casos en los cuales exista deslizamiento o fuerzas tangenciales a la superficie de contacto, se producen esfuerzos adicionales. Las siguientes ecuaciones corresponden a cálculos preliminares bajo los cuales se plantea la solución de problemas de contacto en la teoría de la elasticidad, así:

- a) Los materiales de los elementos contiguos son homogéneos e isótropos,
- b) El área de contacto es muy pequeña comparada con la superficie de los cuerpos que se tocan,

- c) Los esfuerzos efectivos están en dirección normal a la superficie de contacto de ambos cuerpos, y
- d) Las cargas aplicadas sobre los cuerpos crean en la zona de contacto sólo deformaciones elásticas sujetas a la ley de Hooke (no se sobrepasa el límite de proporcionalidad) [6].

En las construcciones reales normalmente no se observan todas estas premisas. Por ejemplo, la tercera no se observa en los engranajes, en las ruedas de fricción y en los cojinetes de contacto rodante, pues en la zona de contacto actúan también fuerzas tangenciales de rozamiento. Como consecuencia de esto, la resultante de estas fuerzas se declina de la normal hacia la superficie de contacto. Sin embargo, la comprobación experimental de la teoría de las deformaciones por contacto confirma completamente su aplicación práctica como esquema de cálculo racional [6].

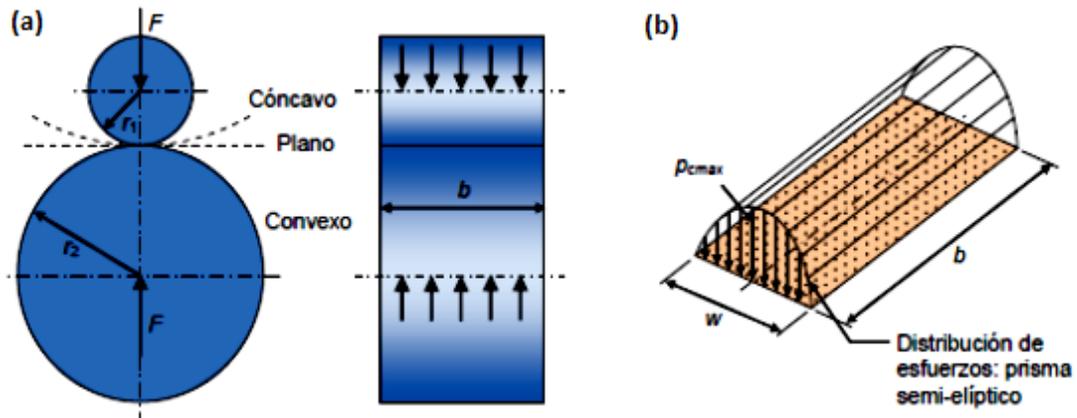


Fig. 2.14. (a) Elementos cilíndricos en contacto bajo la acción de una fuerza F de compresión y (b) Área de contacto rectangular de ancho w , y distribución del esfuerzo de compresión [6].

Las ecuaciones para el cálculo del ancho de la huella (w) y la presión máxima ($P_{cmáx}$), son la ecuación 2.7 y 2.8 respectivamente:

$$w = 4 \sqrt{\frac{F \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right) + \left(\frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)}{\pi b (1/r_1 \pm 1/r_2)}} \quad (2.7)$$

$$P_{cmáx} = \frac{4F}{\pi w b} = \sqrt{\frac{\pi b (1/r_1 \pm 1/r_2)}{F \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right) + \left(\frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (2.8)$$

donde:

ν_1 y ν_2 son las relaciones de Poisson de los cilindros menor y mayor, respectivamente;

E_1 y E_2 son los módulos de elasticidad de los cilindros menor y mayor, respectivamente; y

El signo '+' se toma cuando ambos cilindros son convexos, y el signo '-' cuando uno de ellos es cóncavo [6].

Si $\nu_1 = \nu_2 = 0.3$ (acero) estas ecuaciones pueden reemplazarse por las ecuaciones 2.9 y 2.10:

$$w = 2.15 \sqrt{\frac{F (1/E_1 + 1/E_2)}{b (1/r_1 \pm 1/r_2)}} \quad (2.9)$$

$$P_{cmáx} = \frac{4F}{\pi w b} = 0.59 \sqrt{\frac{b (1/r_1 \pm 1/r_2)}{F (1/E_1 + 1/E_2)}} \quad (2.10)$$

El esfuerzo cortante máximo y la profundidad al cual ocurre (para $\nu_1 = \nu_2 = 0.3$) están dados por la ecuaciones 2.11 y 2.12, respectivamente:

$$\tau_{máx} = 0.304 P_{cmáx} \quad (2.11)$$

$$z = 0.4 \cdot w \quad (2.12)$$

Aplicando las ecuaciones para los rodillos de apoyo cuyas dimensiones son: diámetro externo de 39.30 mm, diámetro interno de 25.00 mm y largo 90 mm.

Además, debido a que la superficie de la probeta es plana se puede asumir que $r_1 \approx \infty$ por lo tanto $1/r_1 = 1/\infty = 0$

$$w = 2.15 \sqrt{\frac{37172 (1/200 \times 10^9 + 1/200 \times 10^9)}{0.0381 (1/\infty + 1/0.01965)}}$$

$$w = 9.4138 \times 10^{-4} m = 0.94138 \text{ mm}$$

$$P_{cmáx} = \frac{4F}{\pi w b} = \frac{4(37172)}{\pi(9.4138 \times 10^{-4})(0.0381)}$$

$$P_{cmáx} = 1319581153.16 \text{ Pa} = 1319.5811 \text{ MPa}$$

$$\tau_{máx} = 0.304(1319.5811) = 401.1527 \text{ Mpa}$$

$$z = 0.4(0.94138) = 0.3766 \text{ mm}$$

Para los rodillos se utilizará acero AISI 1518 ya que en el mercado salvadoreño se encuentra este material en barra redonda perforado con dimensiones de diámetro interno 25 mm y diámetro externo 40 mm. Así, esto reducirá considerablemente los costos en el maquinado, además posee un límite de fluencia de 480.526 MPa lo cual advierte que no fallará.

2.3.3. EMPUJADOR

En algunas literaturas este elemento es identificado con el nombre de punzón, así es el elemento que se acoplará al émbolo de la prensa hidráulica y transmitirá la fuerza hacia las probetas a doblar. Para poder realizar dobleces de diferentes radios y así evaluar probetas de diferentes espesores.

2.3.3.1. CUERPO DEL EMPUJADOR

El empujador que se presenta en la Fig. 2.15, debido a las restricciones geométricas de la prensa hidráulica y con el fin de generar dobleces con los radios que especifica la norma ASTM E-190, deberá tener las siguientes dimensiones: una altura de 70 mm, un área transversal de 38 mm x 60 mm, en su cara inferior justamente en el centro un agujero de 20 mm de diámetro por 20 mm de profundidad y a sus costados en las dos caras de 60 mm x 70 mm tendrá roscas M8 x 15 mm.

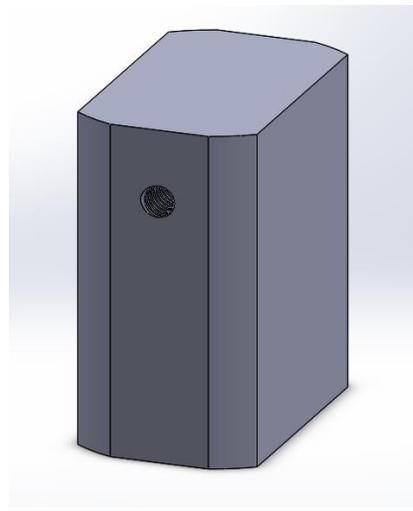


Fig. 2.15. Cuerpo del empujador

La carga a la que estará sometida esta pieza es de compresión, la cual se aplicará a este elemento por medio del émbolo de la prensa hidráulica, para el caso dicho émbolo tiene un diámetro de 38 mm y en el centro un saliente que se acopla en el agujero del empujador, por lo tanto la fuerza es aplicada en un área que tiene la forma de un anillo de diámetro externo de 38 mm e interno de 20 mm.

El área que se describió anteriormente es donde inicialmente se aplica la carga y es la sección más crítica del elemento por tener dimensiones menores al

resto, según lo calculado el dobléz de la probeta de mayor espesor demanda 74.344 kN, así el esfuerzo aplicado es:

$$\sigma = \frac{74.344 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} [(0.038)^2 - (0.02)^2]} = 90.668314 \times 10^6 \text{ Pa} = 90.67 \text{ MPa}$$

Para este elemento se utilizará un acero AISI 1045 el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 413 MPa, así se comprará barra redonda de 2.5 pulg.

2.3.3.2. CABEZA DEL EMPUJADOR

Este elemento mostrado en la Fig. 2.16 posee la curva que se quiere dar al dobléz, se pretende fabricar tres cabezas de empujador de diferentes dimensiones para poder evaluar tres diferentes espesores de probeta, estas cabezas serán de fácil montaje y desmontaje.

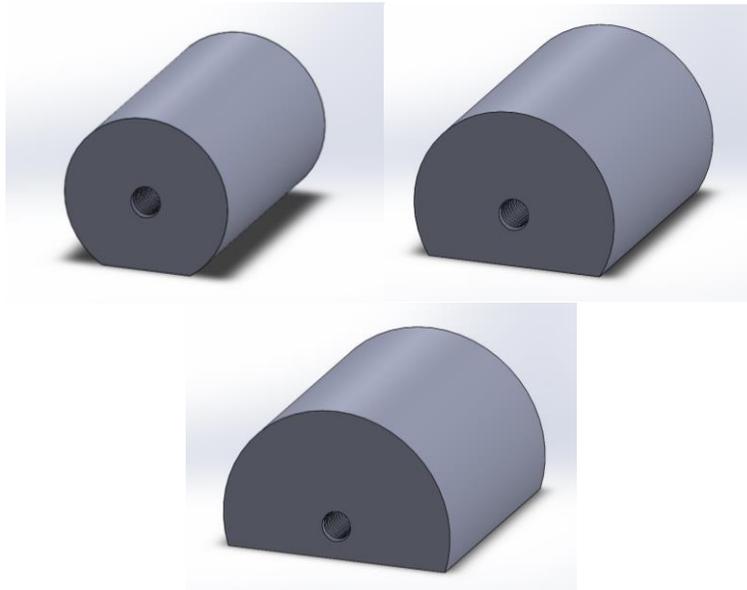


Fig. 2.16. Cabezas del empujador.

La cabeza del empujador aplicará la fuerza en el centro de la probeta, la condición de carga generara un esfuerzo de contacto y la cabeza de empujador donde los esfuerzos serán mayores es la más pequeña por dos razones:

- 1) Su radio es menor y la fuerza se distribuye en una menor huella haciendo máximo el esfuerzo.
- 2) La cabeza del empujador más pequeña es la utilizada para doblar la probeta de mayor espesor y por lo tanto la que requiere más fuerza para ser doblada.

Por lo expuesto anteriormente se evaluará la cabeza de empujador de menores dimensiones, cabe mencionar que en el diseño las dimensiones se eligen en base a las curvaturas que la norma ASTM E-190 exige para el ensayo y con el análisis de esfuerzos se pretende escoger el material adecuado.

La cabeza del émbolo de menores dimensiones es la correspondiente para doblar probetas de 9.5 mm de espesor (3/8 pulg) y su radio es de 19 mm.

Así, debido a que la superficie de la probeta es plana se puede asumir que $r_1 \approx \infty$ por lo tanto $1/r_1 = 1/\infty = 0$

$$w = 2.15 \sqrt{\frac{74343.96 (1/200 \times 10^9 + 1/200 \times 10^9)}{0.0381 (1/\infty + 1/0.19)}}$$

$$w = 1.3091 \times 10^{-3} m = 1.3091 \text{ mm}$$

$$P_{cmax} = \frac{4F}{\pi w b} = \frac{4(74343.96)}{\pi (1.3091 \times 10^{-3})(0.0381)}$$

$$P_{cmax} = 1897833072.48 \text{ Pa} = 1897.8330 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 0.304(1897.8330) = 576.941 \text{ Mpa}$$

$$z = 0.4(2.7689) = 1.1076 \text{ mm}$$

Para las cabezas del empujador se utilizarán acero AISI 1045 el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 413 MPa, se comprará barra redonda, aunque al comparar el cortante máximo con el esfuerzo de fluencia de este material no cumple ya que:

$$\tau_{m\acute{a}x} > S_y$$

$$576.941 \text{ MPa} > 413 \text{ MPa}$$

Pero se utilizara un acero AISI 1045 bajo los siguientes argumentos:

- 1) La fuerza aplicada para doblar la probeta de 9.5 mm tiene un factor 1.5 como se especificó en la sección donde se realizó dicho cálculo, es decir que en realidad la fuerza es de 49562.64 N con esta fuerza se obtiene:

$$\tau_{max} = 490.0152 \text{ MPa}$$

- 2) El esfuerzo máximo se produce cuando la probeta se ha deformado plásticamente, es decir es cóncava por lo cual el área de contacto ha aumentado considerablemente disminuyendo el esfuerzo.
- 3) Los dos argumentos anteriores se probaran en la fase experimental, si la pieza sufriera deformación plástica se fabricará de un acero de mayor resistencia.

2.4. CONJUNTO DE ELEMENTOS A FABRICAR

Los accesorios descritos anteriormente tienen como fin acoplarse a una prensa hidráulica de 12 toneladas y doblar probetas con las dimensiones que la norma ASTM E-190 específica, las cuales se presentan en la Fig. 2.17.

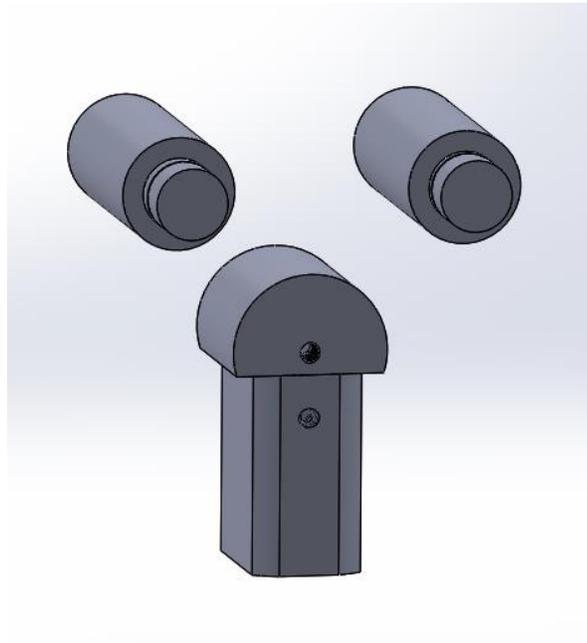


Fig. 2.17. Conjunto de elementos.

2.5. OTROS ELEMENTOS

Se necesitarán algunos accesorios que ayudarán al buen funcionamiento de la máquina, estos accesorios no estarán sometidos a esfuerzos críticos por ende no se consideró necesario un análisis de esfuerzos o de diseño, entre estos elementos se tienen:

- ✓ 4 pernos de M8 x 15 de acero inoxidable ferrítico
- ✓ 4 arandelas seeger externas para eje de 25 mm
- ✓ 2 placas con agujeros, las cuales servirán para sujetar la cabeza del empujador al cuerpo del empujador y permitir su desmontaje y cambio.

2.6. ANÁLISIS DE ESFUERZOS PARA LAS PLACAS DE LA PRENSA HIDRÁULICA

Las placas de la prensa son elementos que serán sometidos a tracción debido a que en ellas estarán soportados los ejes de los rodillos, por lo tanto a

dichas placas se les realizar agujeros de 25 mm, los cuales son las partes más críticas. Así, a continuación se calcula cuanto es el esfuerzo al que estarán sometidos partiendo que el espesor de la placa es de 5 mm.

Recordando que la fuerza máxima que se usará será de 74343.96 N y que esta se dividirá en es los dos rodillos de apoyo y que a su vez se dividirán en 2 agujeros donde van soportados los ejes de los rodillos de apoyo, por lo tanto la fuerza aplicada a cada agujero es de 18585.99 N en un área de 25 mm x 5mm.

$$\sigma = \frac{18585.99 \text{ N}}{(0.025 \text{ m})(0.005 \text{ m})} = 148.6879 \text{ MPa}$$

Cada placa de la prensa que se presentan en la Fig. 2.18 están fabricadas con acero ASTM A36 el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa, por lo cual se concluye que las placas soportarán los esfuerzos.

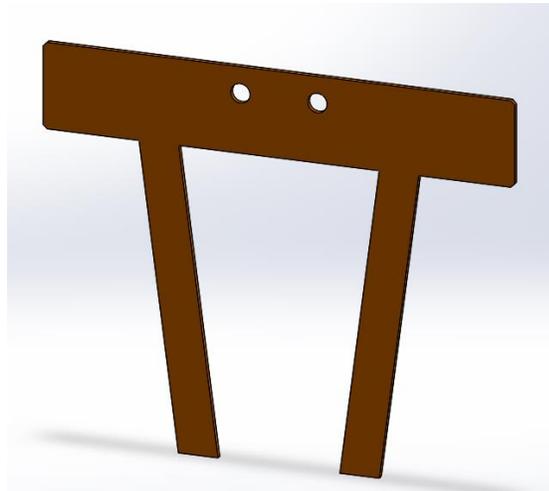


Fig. 2.18. Placa de la prensa hidráulica.

Al ensamblar los accesorios en la prensa se obtiene el siguiente mecanismo que se presenta en la Fig. 2.19.

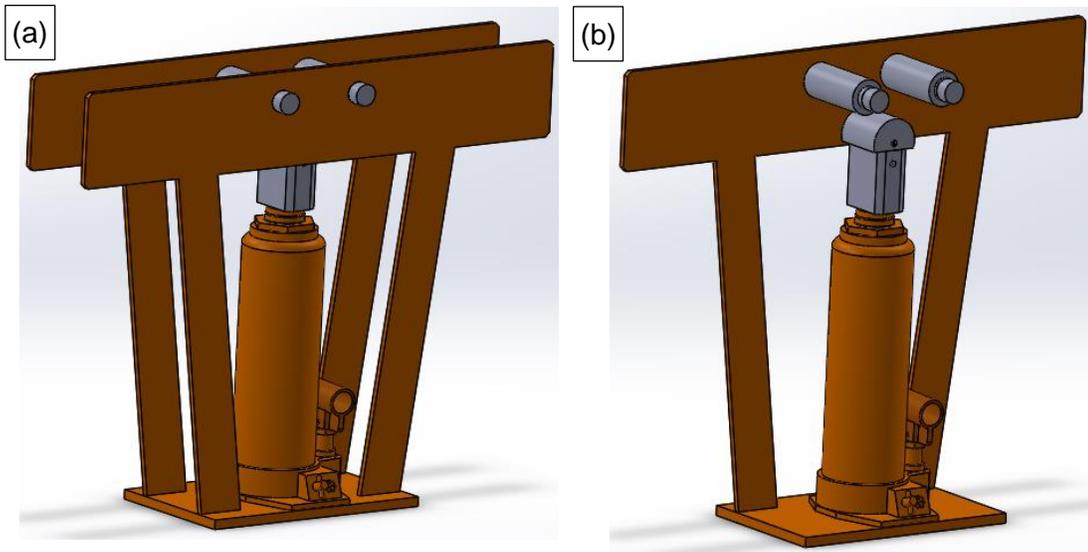


Fig. 2.19. Prensa hidráulica y accesorios: (a) Con placa frontal y (b) Sin placa frontal.

El diseño propuesto en el desarrollo de este capítulo, puede ser fabricado sin inconvenientes respetando la integridad de las dimensiones en cualquier taller de metalmecánica y además en el país se cuenta con los materiales seleccionados

3. CONSTRUCCIÓN DEL ACCESORIO

En este capítulo se presenta una descripción de la transformación de la metería prima, mediante el uso de herramientas y máquinas-herramientas, utilizando técnicas de metalmecánica, con el fin de obtener las piezas o elementos descritos en el capítulo anterior, en la Fig. 3.1 se presentan los aceros utilizados como materia prima.



Fig. 3.1. Materia prima.

3.1. EJES DE RODILLOS DE APOYO

Para la fabricación de esta pieza se parte de una barra de 25 mm de diámetro por 305 mm de largo, en un acero AISI 4340 que es un acero al cromo-níquel-molibdeno con tratamiento térmico de temple y revenido, con esfuerzo de fluencia de 680 MPa.

Proceso:

- a) Se montó en torno, a lo largo de la barra se desgasto con lija para retirar algunas irregularidades que deja el aceite quemado luego de un tratamiento térmico de temple y revenido.

- b) Se refrentaron las caras de la barra
- c) Se tronzó dos piezas de 135 mm de largo como se ve en la Fig. 3.2.
- d) En cada pieza de 135 mm se maquinó un canal a 14 mm del borde de 1 mm de profundidad por 1 mm de ancho con el fin de colocar arandelas seeger.



Fig. 3.2. Tronzado de material sobrante.

3.2. RODILLOS DE APOYO

Para reducir los costos de maquinado se escogió como materia prima, barra redonda perforada de un acero AISI 1518 el cual es un acero al carbono

con un alto contenido de manganeso y una resistencia de fluencia de 480.526 MPa, con un diámetro interno de 25 mm por un diámetro externo de 40 mm y un largo de 255 mm.

Proceso:

- a) En el torno se cilindró el diámetro exterior a 39.3 mm para rectificar la superficie de las piezas
- b) Se tronzó de modo tal que se formaron dos piezas de 92 mm de largo
- c) Se refrentaron las caras de cada pieza hasta llegar a un largo de 90 mm
- d) Se realizó un cilindrado interno para rectificar la superficie interna y puesto que aunque la barra comercialmente era de 25 mm diámetro interno en realidad tenía en promedio 24.7 mm de diámetro interno y presenta una superficie con ciertas irregularidades.



Fig. 3.3. Tronzado de barra perforada apoyada entre el plato y un contrapunto.



Fig. 3.4. Cilindrado interno de rodillo de apoyo.

3.3. EMPUJADOR

Elemento formado por dos partes, el cuerpo del empujador y la cabeza del empujador que es intercambiable dependiendo de las dimensiones de la probeta a ensayar.

3.3.1. CUERPO DEL EMPUJADOR

Para esta pieza se seleccionó como materia prima un acero AISI 1045 en barra redonda de 63.5 mm de diámetro por 101.6 mm de largo el cual tiene una resistencia a la fluencia de 413 MPa.

Procedimiento:

- a) Se refrentó la cara inferior en el torno
- b) Se perforó con broca en la cara inferior dando medidas aproximadas a 20 mm de diámetro y 20 mm de profundidad



Fig. 3.5. Perforación de agujero en cara inferior de cuerpo del empujador.

- c) Se dio medida final al agujero con barra para cilindrado interno quedando con un diámetros de 20 mm
- d) Se tronzó y refrentó la cara superior para lograr un largo de 70 mm
- e) En el torno utilizando un plato de 4 mordazas independientes se maquinó la pieza de la superficie cilíndrica formando 4 caras, con las esquinas manteniendo la curva esto con el fin de lograr un área transversal de 38 x 60 mm

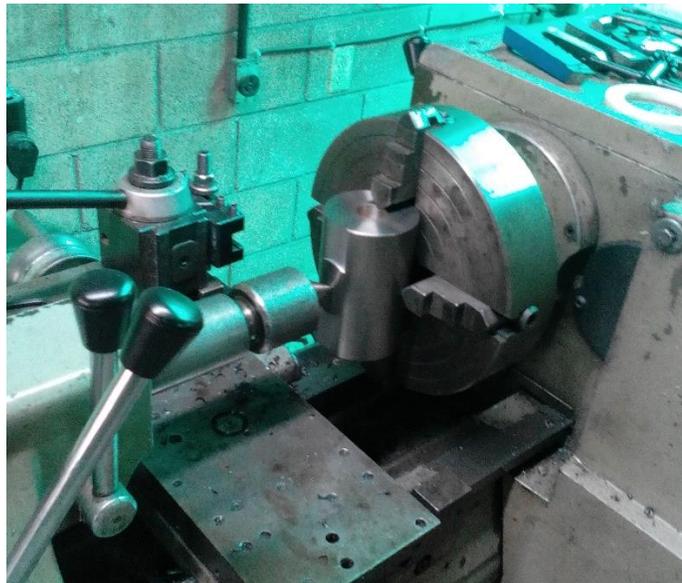


Fig. 3.6. Maquinado de superficie cilíndrica del cuerpo del empujador.

- f) En el taladro de banco se realizaron dos agujeros de 6.35 mm de diámetro por 15 mm de profundidad en los costados más delgados de la pieza.



Fig. 3.7. Taladrado de agujeros pre roscado en el cuerpo del empujador.

- g) En el agujeros de 6.35 mm se realizó una rosca UNC 5/16 pulg paso 18 hilos por pulg utilizando machuelos, bandeador y prensa.



Fig. 3.8. Roscado en cuerpo del empujador.

3.3.2. CABEZA DEL EMPUJADOR

Se fabricaron 3 cabezas con diferentes medidas de radio 19, 23 y 27 mm todas con largo de 60 mm a partir de un acero AISI 1045 en barra redonda de 38.1, 50.8 y 57.15 mm respectivamente todos con un largo de 63.5 mm.

Proceso:

- a) Las tres piezas fueron cilindradas hasta llegar a sus diámetros respectivos de 38, 46 y 54 mm;
- b) Se refrentaron las caras laterales para conseguir una longitud de 60 mm
- c) En torno utilizando un plato de 4 mordazas independientes, se maquinó la pieza de la superficie cilíndrica formando 1 cara plana de modo tal que las tres piezas tuvieran la misma altura de 35 mm;
- d) En taladro de banco se realizaron dos agujeros de 6.35 mm de diámetro por 15 mm de profundidad en los costados de la pieza;
- e) En los agujeros de 6.35 mm se realizó una rosca UNC 5/16 pulg y un paso 18 hilos por pulg utilizando machuelos, bandeador y prensa.



Fig. 3.9. Cabezas del empujador.

3.4. AGUJEROS EN PLACAS DE LA PRENSA HIDRÁULICA

La prensa hidráulica posee dos placas donde se perforó dos agujeros en cada una, con el fin de colocar los ejes y rodillos de apoyo, estos agujeros se realizaron con un diámetro de 25 mm.

Proceso:

- a) Se establecieron los trazos con la ayuda de escuadra y calibrador vernier, esto para ubicar los puntos donde se perforaría de acuerdo a las dimensiones del diseño.



Fig. 3.10. Prensa hidráulica con sus placas a perforar.

- b) Utilizando un centro punto y martillo, se marcaron los centros de las perforaciones
- c) Se montó la prensa hidráulica en el taladro de banco y con la ayuda de dos sargentos se sujetó
- d) Utilizando una broca de centro # 3 se realizaron agujeros para facilitar la entrada de la broca de mayor diámetro
- e) Se perforó utilizando una broca de 24.6 mm (31/32 pulg)



Fig. 3.11. Placas de prensa hidráulica siendo perforadas en taladro de banco

3.5. UNIÓN SOLDADA ENTRE EMPUJADOR Y PLACA PARA RESORTES

La prensa hidráulica posee una placa que junto con dos resortes permiten el regreso del pistón luego de girar el tornillo de descarga, esta placa fue soldada al empujador con el fin de que éste regrese al punto más bajo luego de realizar el doblé.

Se utilizó el proceso de soldadura TIG con electrodo de tungsteno punto gris de 2.4 mm de diámetro sin material de aporte, la soldadura fue realizada a una corriente de 80 A y utilizando como gas inerte argón.



Fig. 3.12. Cilindro contenedor de argón, flujómetro y antorcha para soldadura TIG.



Fig.3.13. Unión soldada entre empujador y placa.

3.6. PLACAS DE SUJECIÓN Y ELEMENTOS ADQUIRIDOS

Debido a que la cabeza del empujador se puede cambiar para doblar diferentes espesores de probeta, se necesita un elemento que pueda sujetar esta cabeza y permitir un desmontaje y montaje práctico.

En este sentido, se fabricaron dos placas de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor con un agujero de 8 mm de diámetro y una ranura cuadrada de 17 mm por 8 mm, utilizando el siguiente proceso:

- a) Utilizando un esmeril angular y disco de 1 mm para un acero inoxidable AISI 304 se cortaron dos rectángulos de 55 mm por 25 mm
- b) A 8 mm de uno de sus lados de 25 mm se perforó un agujero de 8 mm de diámetro en un taladro de banco.

- c) Para la ranura rectangular de 17 mm por 8 mm ubicada a 12 mm de un extremo de 25 mm se realizaron dos agujeros de 8 mm consecutivos y se unieron utilizando una lima triangular.



Fig. 3.14. Placa de sujeción entre cuerpo y cabeza de empujador.

Los elementos que se adquirieron además de las piezas que se fabricaron, fueron 4 pernos de acero inoxidable 304 M8 x 15 mm y 4 arandelas seeger para eje de 25 mm, estos elementos se presentan en la Fig. 3.15



Fig. 3.15. Arandelas seeger y pernos.

3.7. PAVONADO DE ACCESORIOS

EL proceso de pavonado consiste en la generación de una capa superficial de óxido ferroso, alrededor de las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión.

Las piezas se desengrasaron con thinner corriente y calentadas utilizando un equipo de autógena como se presenta en la Fig. 3.16, luego se aplicó calor hasta que las piezas alcanzaron un color azulado, color que indica alrededor de 300 °C en los aceros.

Posteriormente, las piezas se sumergieron en aceite de uso automotriz ya desechado, así el resultado se presenta en la Fig. 3.17, y a pesar de que el procedimiento no fue el más idóneo el resultado se considera aceptable ya que el color oscuro logrado es muy uniforme y, sobre esta base, se considera que sustancialmente se puede lograr alta resistencia a la corrosión.



Fig. 3.16. Calentamiento por medio de una antorcha de autógena.



Fig. 3.17. Accesorios después de pavonado.

4. DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS Y ENSAYO

La inspección de uniones soldadas se define como el conjunto de actividades encaminadas a asegurar un determinado grado de fiabilidad de un conjunto soldado, mediante la verificación del mismo por medios adecuados durante diferentes fases del proceso productivo.

La importancia de esta inspección se desprende de la responsabilidad de los equipos y construcciones que actualmente se fabrican por soldadura, los cuales, en determinadas condiciones de fallo, afectan seria y directamente a la seguridad pública.

4.1. PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO EN U

Es importante destacar, que las probetas se fabricarán con el objetivo de evaluar, si la máquina constituida por los accesorios y la prensa hidráulica descritos con anterioridad, producen los dobleces en U a las dimensiones que la norma ASTM E-190-92 lo especifican, y por ende también verificar los resultados del análisis de esfuerzos de los accesorios y la capacidad de la prensa hidráulica.

Así, dado lo anterior, se recomienda que para evaluaciones de soldadura mediante el ensayo de doblez en U, las probetas sean fabricadas bajo los estándares de la norma AWS D1.1 Código de Soldadura Estructural.

A continuación se describe el proceso de fabricación de las probetas que se utilizaron para verificar el funcionamiento de la máquina de ensayo de doblez en U.

La máquina de doblez ha sido diseñada para realizar doblez en U a tres espesores de probetas 3.18, 6.35 y 9.53 mm (1/8, 1/4 y 3/8 pulg), un ancho de 38.1 mm (1 ½ pulg) y un largo de 165.1 mm \pm 12.7 mm (6 ½ pulg \pm ½ pulg), así para disminuir costos de corte y maquinado se utilizó una pletina de 38.1 mm (1

½ pulg) para los espesores antes descritos, el material de esta pletina es un acero ASTM A-36.

El procedimiento para obtener las probetas de longitudes de $165.1 \text{ mm} \pm 12.7 \text{ mm}$ ($6 \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ pulg), y un ancho de 38.1 mm ($1 \frac{1}{2}$ pulg) para cada una de ellas, se describe a continuación:

- a) Para cada longitud de probeta se cortaron dos secciones de pletina de 88.9 mm ($3 \frac{1}{2}$ pulg) de largo y 4 secciones de pletina de 25.4 mm (1 pulg) de largo como se observa en la Fig 4.1 para el inicio y finalización del cordón de soldadura, así para ello se utilizó una prensa de banco y esmeril angular con disco para corte de acero de 3.175 mm ($1/8$ pulg) de espesor.

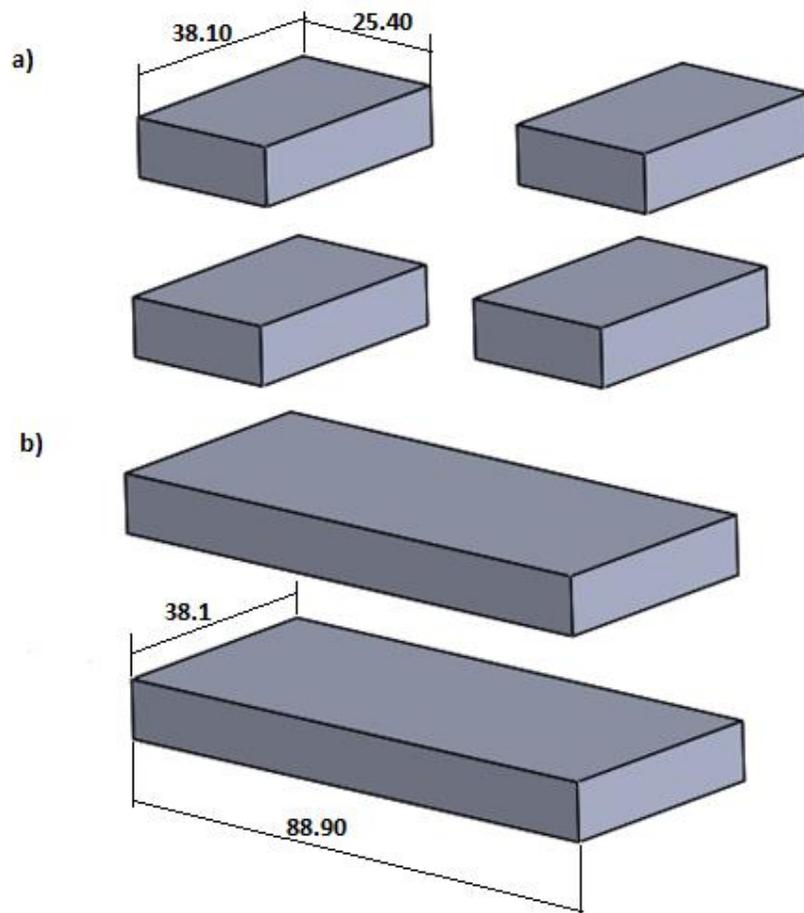


Fig. 4.1. a) Secciones de pletina utilizadas para iniciar y finalizar cordón de soldadura, b) Secciones de pletina que formaran la probeta.

La función de las cuatro secciones más cortas de pletina ubicadas a los extremos, fue la de poder iniciar y finalizar el cordón de soldadura en ellas, para evitar que la probeta presentara efectos de borde, además poder tener un arco eléctrico estable y tener un cordón de soldadura uniforme en la sección que se ensayó, el cordón se inició a 25 mm de la sección a ensayar.

- b) Se biseló uno de los extremos de cada sección de 38.1 mm (1 ½ pulg) a 60° utilizando prensa de banco y esmeril angular con disco de desbaste para metal, las piezas fueron colocadas como se presenta en la Fig. 4.2.

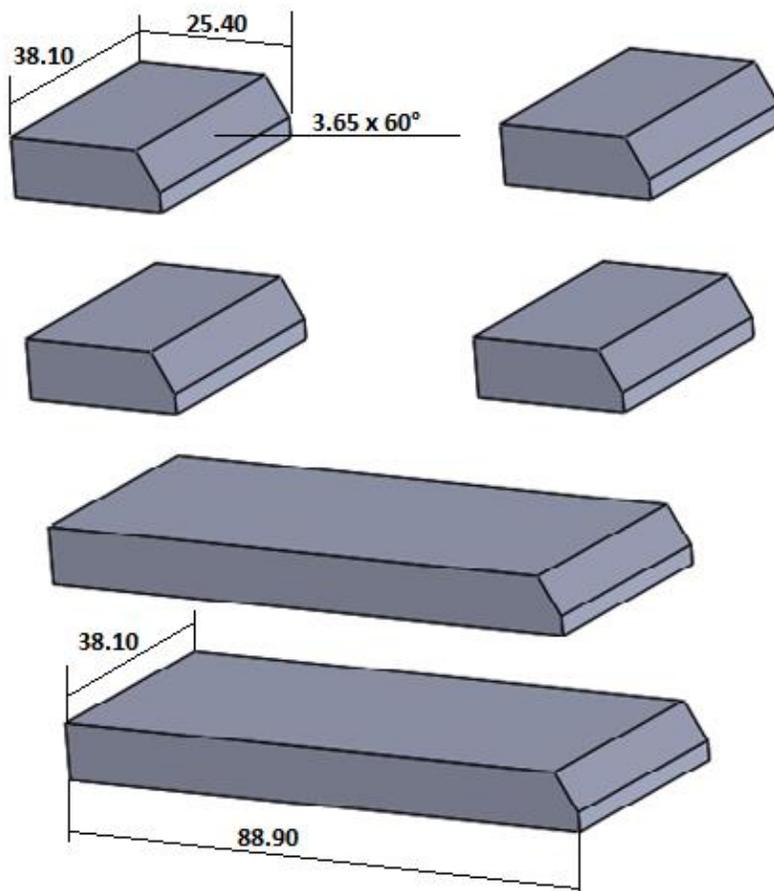


Fig. 4.2. Secciones de pletina con bisel para fabricar la probeta. Las dimensiones del bisel son para probeta de 9.53 mm (3/8 pulg).

- c) Para la preparación y realización de la junta soldada se tomó como referencia las juntas de penetración completa que presenta la AWS en el libro de Evaluación de especificaciones, a continuación se presenta en la Fig. 4.3 el esquema de soldadura de ranura en V y en la Tabla 4.1 sus especificaciones.

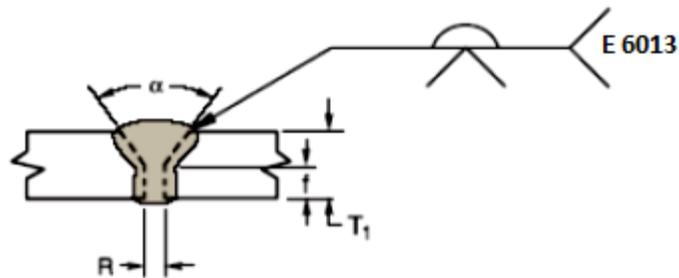


Fig. 4.3. Soldadura de ranura de bisel en V [4].

Tabla 4.1. Especificaciones de la soldadura de ranura de bisel en V [4].

Proceso de Soldadura	SMAW
Designación de la junta	B-U2
Espesor de metal base (T_1), mm	Sin límite
Abertura de raíz (R), mm	0 a 3.2
Altura de raíz (f), mm	0 a 3.2
Ángulo de ranura (α), °	60

Las soldaduras en las probetas se realizaron sin respaldo, pero con fines explicativos a continuación se presenta el esquema de soldadura en V con respaldo en la Fig. 4.4 y sus especificaciones en la Tabla 4.2.

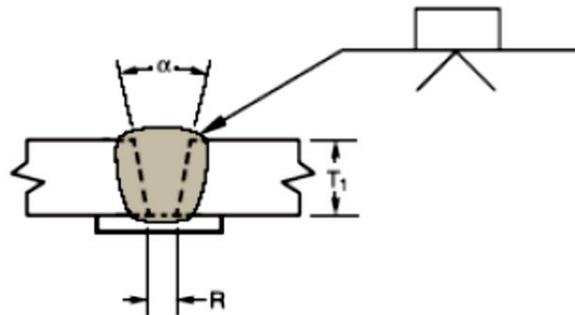


Fig. 4.4. Soldadura de ranura de bisel en V con respaldo [4].

Tabla 4.2. Especificaciones de la soldadura de ranura de bisel en V con respaldo [4].

Proceso de Soldadura	SMAW		
Designación de la junta	B-U2a		
Espesor de metal base (T_1), mm	Sin límite		
Abertura de raíz (R), mm	6.35	9.53	12.7
Ángulo de ranura (α), °	45	30	20

- d) Se soldaron las 6 secciones uniéndolas en los extremos biselados en posición plana (1G) con electrodo 6013 con diámetro de 2.4 mm (3/32 pulg) iniciando y terminando el arco en las secciones más cortas, la posición de cada sección se presenta en la Fig. 4.5.

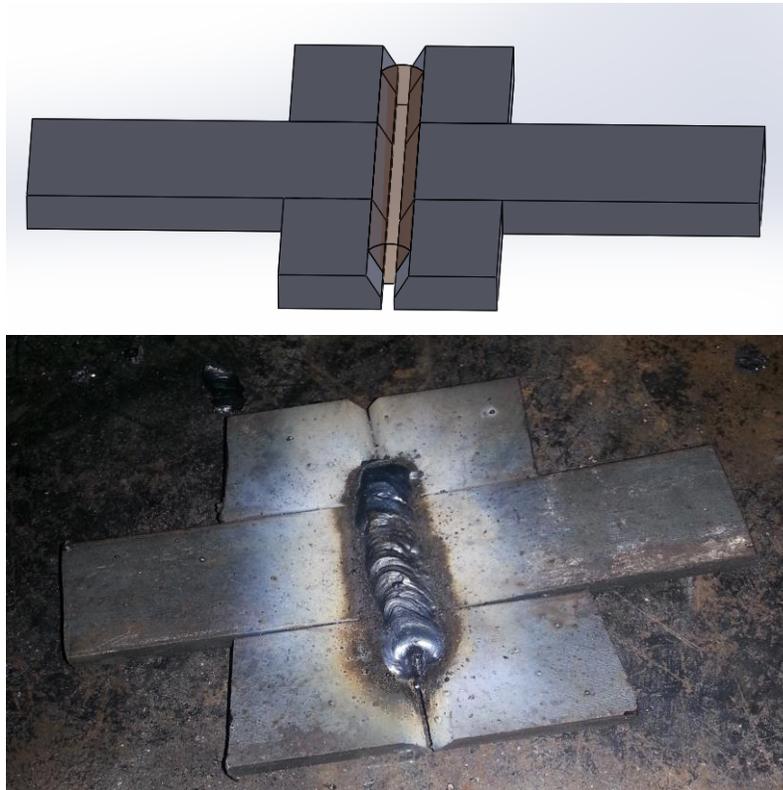


Fig. 4.5. Proceso de soldadura de probeta.

- e) Luego de haber realizado el cordón las 4 secciones cortas de pletina fueron retiradas utilizando esmeril angular, disco para corte fino y líquido de enfriamiento, quedando la probeta como se presenta en la Fig. 4.6.

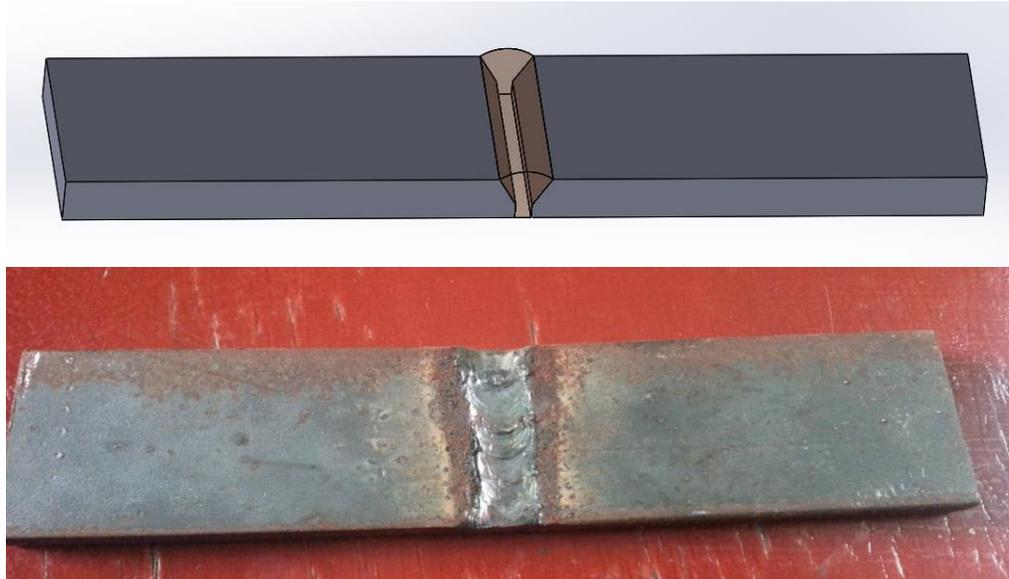


Fig. 4.6. Probeta luego de retirar las secciones de inicio y fin del cordón de soldadura.

- f) Sí el doblé a realizar es de curvatura transversal a la cara de la soldadura, se tiene que esmerilar la raíz de la soldadura hasta lograr una superficie uniforme y plana, y el doblé se realiza tal como se presenta en la Fig. 4.7.

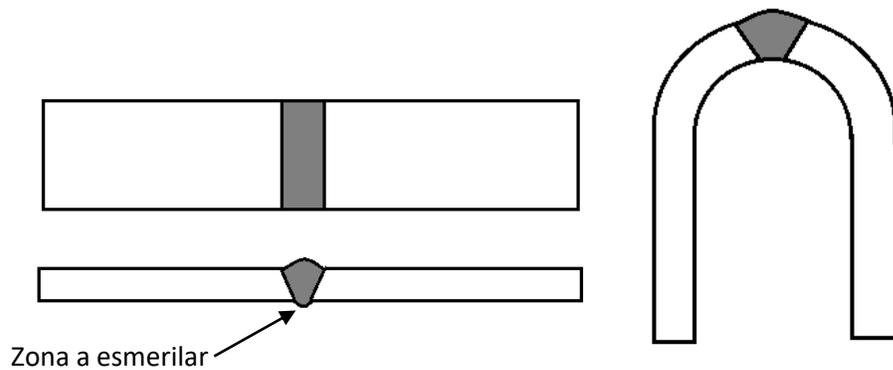


Fig. 4.7. Esquema de la zona a esmerilar para dobles de cara.

- g) Sí el doblado a realizarse es de curvatura transversal a la raíz de la soldadura, se tiene que esmerilar la cara de la soldadura hasta lograr una superficie uniforme y plana y el doblado se realiza tal como se presenta en la Fig. 4.8.

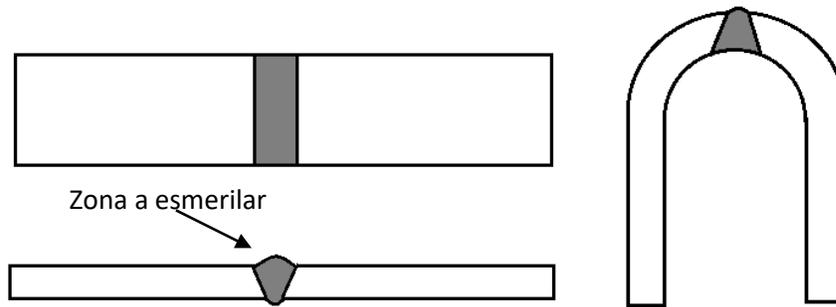


Fig. 4.8. Esquema de zona a esmerilar para doblado de raíz.

4.2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE LA SOLDADURA DE RANURA

Muchas características de una unión soldada pueden ser evaluadas en el proceso de inspección, algunas relacionadas con las dimensiones, y otras relativas a la presencia de discontinuidades.

4.2.1. DESCRIPCIÓN DE ACEPTACIÓN DEL PERFIL DE SOLDADURA

Antes de ensayar una probeta, la soldadura depositada en ésta debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) Las caras de las soldaduras de filete pueden ser ligeramente convexas, planas o ligeramente cóncavas como se presenta en la Fig. 4.9, sin ninguno de los perfiles inaceptables mostrados en la Fig. 4.10. Excepto para juntas en esquina exteriores.

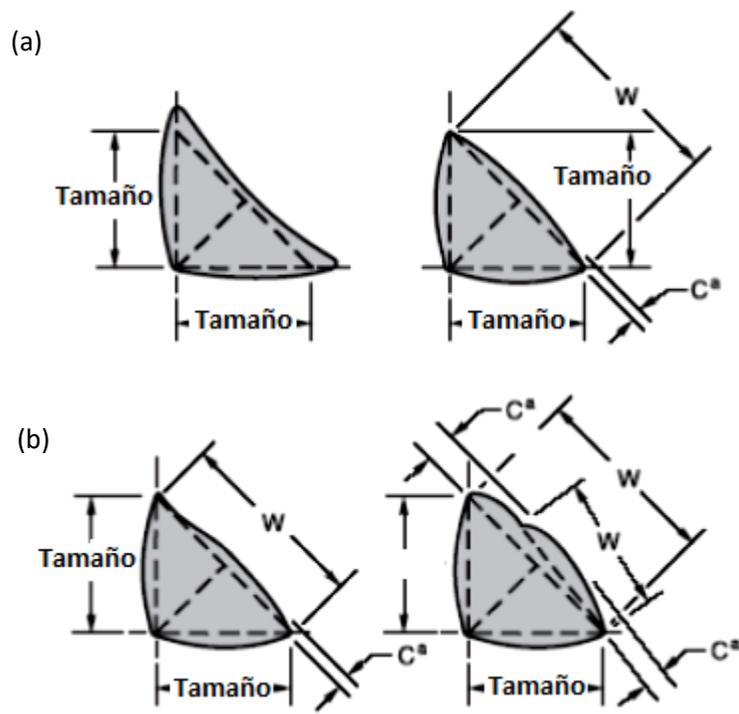


Fig. 4.9. Perfiles de soldadura de filete. (a) Deseables y (b) Aceptables [4].

La convexidad, "C" de una soldadura o de una superficie de cordón con dimensión W no debe exceder el valor de la Tabla 4.3:

Tabla 4.3. Convexidad de perfil de soldadura de filete [4].

Ancho de la cara de soldadura o superficie individual del cordón (W), mm	Convexidad máxima (C), mm (pulg)
$W \leq 7.94$	1.59 (1/16)
$7.94 \text{ mm} < W < 25.4$	3.18 (1/8)
$W \geq 25.4$	4.76 (3/16)

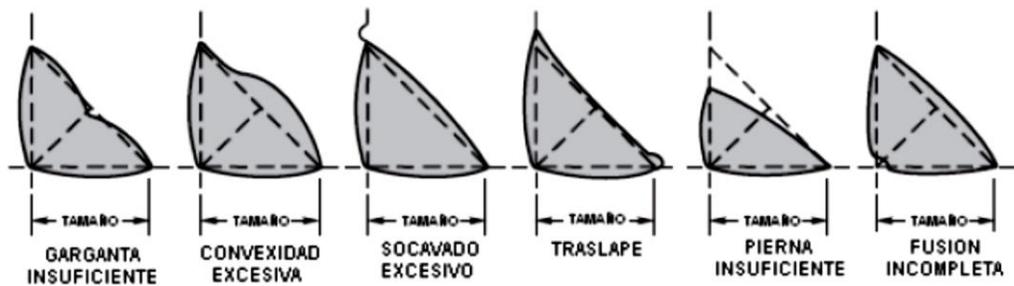


Fig. 4.10. Perfiles no aceptables de soldadura de filete [4].

- b) Las soldaduras de ranura deben ser realizadas preferiblemente con ligero o mínimo refuerzo excepto que se especifique lo contrario. En el caso de juntas a tope y en esquina, el refuerzo no debe exceder de 3.2 mm (1/8 pulg) en altura y debe tener una transición gradual al plano de la superficie del metal base como se presenta en la figura 4.11.

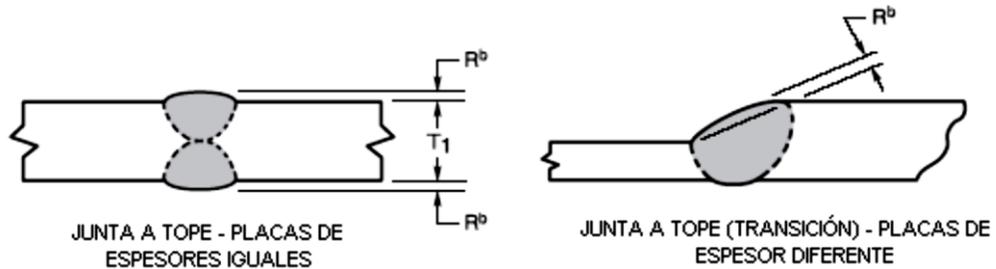


Fig. 4.11. Perfiles aceptables de soldadura de ranura [4].

Además, las juntas a tope deben de estar sin ninguna de las irregularidades que se presentan en la Fig. 4.12.

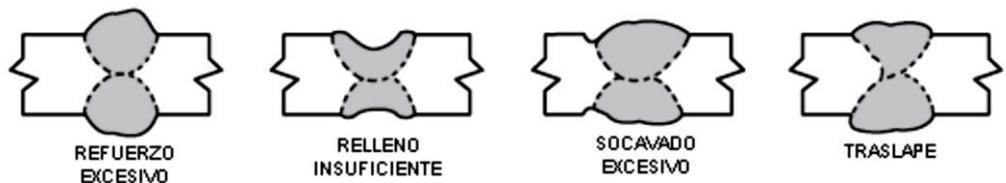


Fig. 4.12. Perfiles no aceptables de soldadura de ranura [4].

- c) Superficies de las soldaduras de ranura con acabados lisos deben ser realizados de tal forma de no disminuir o no dejar más delgado el espesor del metal ni el metal del cordón de soldadura por más de 0.8 mm (1/32 pulg) o 5% del espesor, el que sea menor, de igual forma no dejar refuerzos que excedan 0.8 mm (1/32 pulg). Sin embargo, todo refuerzo debe ser removido en donde la soldadura forma parte de un fallo a la superficie de contacto. Cualquier refuerzo debe ser esmerilado suavemente dentro de la superficie de la placa con áreas de transición libres de socavado de soldadura. El cincelado se puede aplicar siempre que sea seguido de un esmerilado. Donde el terminado de la superficie

es requerido, el valor de la rugosidad no debe exceder $6.3 \mu\text{m}$ (250 micro-pulg). Superficies acabadas a valores por encima de $3.2 \mu\text{m}$ (125 micro-pulg) hasta $6.3 \mu\text{m}$ (250 micro-pulg) deben ser acabadas y las marcas del esmerilado deben ser paralelas a la dirección principal del esfuerzo. Superficies acabadas a valores de $3.2 \mu\text{m}$ (125 micro-pulg) o menores pueden estar acabadas en cualquier dirección.

- d) Los extremos de las soldaduras de ranura que requieren ser lisas deben ser terminadas de tal forma que no se reduzca el ancho más allá del ancho especificado o el ancho actual suministrada, lo que sea mayor, por más de 3.2 mm ($1/8$ pulg) o así como no dejar refuerzos a cada extremo que excedan 3.2 mm ($1/8$ pulg). Los extremos de soldaduras en juntas a tope deben ser ajustadas a la placa adyacente o la forma de los bordes con una pendiente que no exceda de 1 en 10.
- e) Las soldaduras deben estar libres de traslapes [4].

4.2.2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURA

La escoria se debe remover de todas las soldaduras terminadas. Todas las soldaduras y el metal base adyacente deben ser limpiados con cepillo o cualquier otro medio disponible antes de la inspección visual. Todas las soldaduras deben cumplir los criterios de aceptación visual previa a cualquier prueba destructiva o no destructiva. Para ser aceptada visualmente, una soldadura deberá cumplir los siguientes criterios:

- a) La soldadura no debe tener picaduras.
- b) Existir completa fusión entre capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.
- c) Todos los cráteres deben ser llenados en la sección transversal de la soldadura.

- d) Cuando la soldadura es transversal al esfuerzo principal en la parte que está el socavado, éste no debe ser mayor que 0.25 mm (0.010 pulg) de profundidad.
- e) Cuando la soldadura es paralela al esfuerzo principal en la parte que está el socavado, el socavado no debe ser mayor que 0.80 mm (1/32 pulg) de profundidad.
- f) La suma de los diámetros de porosidad visible no deben exceder 9.5 mm (3/8 pulg) en cualquier pulg lineal de soldadura ni la suma debe exceder 19.0 mm (3/4 pulg) en 305 mm (12 pulg) de longitud de soldadura.
- g) A cualquier soldadura de filete continua, se le debe permitir (a todo lo largo) una disminución de 1.6 mm (1/16 pulg) del tamaño de filete nominal especificado.
- h) La inspección visual de soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que las soldadura completa se hayan enfriado a temperatura ambiente. La inspección visual final para soldaduras de acero ASTM A 514 y A 517 no debe ser ejecutada antes de 48 horas después de haberse completado la soldadura y remoción del precalentamiento.
- i) Puntos por arco fuera de la ranura de soldadura están prohibidos [4]..

4.2.3. RESULTADOS REQUERIDOS PARA PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

Todas las pruebas de doblez guiado. La superficie convexa de los especímenes de prueba de doblez deben ser examinados visualmente para evaluar las discontinuidades superficiales. Para aceptar, la superficie debe cumplir con los siguientes criterios:

- a) Una simple discontinuidad no debe exceder 3.2 mm (1/8 pulg) medida en cualquier dirección.

- b) La suma de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades excediendo 0.8 mm (1/32 pulg) pero menores que o iguales a 3.2 mm (1/8 pulg), no deben exceder 9.5 mm (3/8 pulg).
- c) Las fisuras en los bordes no deben exceder 6.4 mm (1/4 pulg) al menos que las fisuras resulten de inclusiones de escoria visibles u otro tipo de discontinuidades por fusión, entonces se debe aplicar como máximo 3.2 mm (1/8 pulg).
- d) Los especímenes con fisuras en los bordes excediendo 6.4 mm (1/4 pulg) sin evidencia de inclusiones de escoria u otro tipo de discontinuidades por fusión, deben ser desechados y debe ser ensayado un nuevo espécimen (de reemplazo) de prueba del elemento soldado originalmente.

4.3. OPERACIÓN DE LA MÁQUINA PARA REALIZAR DOBLEZ EN U

La operación de la máquina de doblez en U consiste en colocar la cabeza al empujador de acuerdo al espesor de probeta a ensayar, colocar la probeta correctamente, accionar la prensa hidráulica para generar doblez y retirar la probeta doblada, a continuación se detalla sobre el procedimiento:

- a) Se debe seleccionar la cabeza del empujador a utilizar a partir del espesor de probeta a ensayar, tal como se presenta en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Probeta y su correspondiente cabeza del empujador.

Espesor de probeta, mm (pulg)	Diámetro de cabeza del empujador, mm (pulg)
3.18 (1/8)	54 (2 1/8)
6.35 (1/4)	46 (29/16)
9.53 (3/8)	38 (1 1/2)

En la Fig. 4.13 se presentan las tres cabezas de empujador que se fabricaron para la máquina de doblez en U.

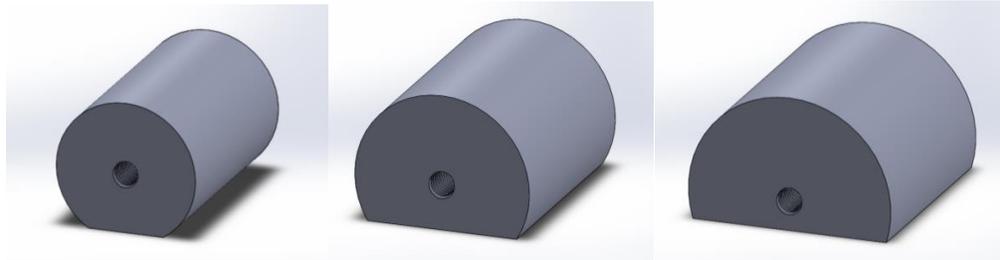


Fig. 4.13. Cabezas del empujador.

- b) Utilizando una llave plana hexagonal para apretar los pernos, se debe fijar las dos placas de sujeción a la cabeza del empujador a utilizar, tal como se presenta en la Fig. 4.14.

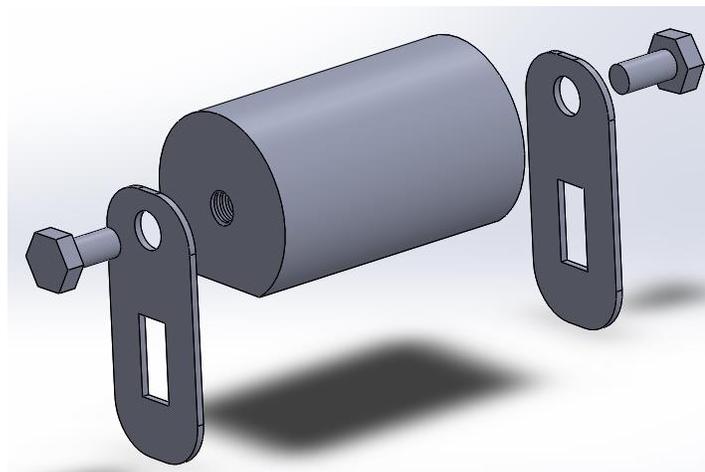


Fig. 4.14. Ensamble de placas de sujeción y cabeza del empujador utilizando pernos.

Las placas deben fijarse a la cabeza por el agujero circular y quedar perpendiculares a la parte plana de la cabeza del empujador, tal como se presenta en la Fig. 4.15.

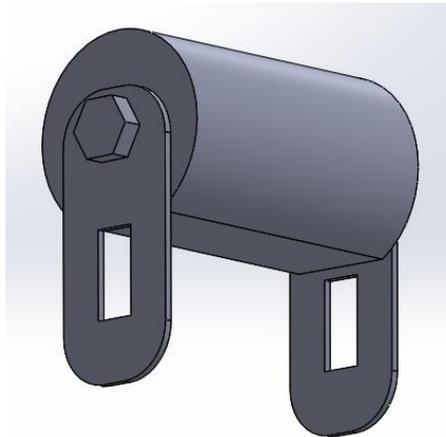


Fig. 4.15. Cabeza del empujador con las placas de sujeción

- c) La cabeza del empujador debe ser colocada sobre el cuerpo del empujador y fijada utilizando dos pernos, en la Fig. 4.16 se presenta la máquina de doblado en U sin la estructura frontal para facilitar la visualización, cabe aclarar que la estructura está fija mediante soldadura y no se puede desmontar.

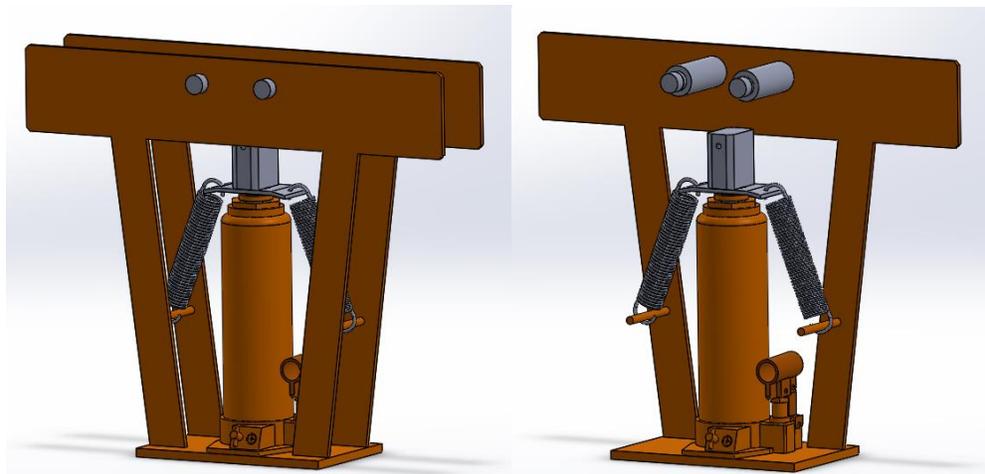


Fig. 4.16. Máquina de doblado en U.

Con el émbolo completamente retraído se debe colocar la cabeza del empujador sobre el cuerpo del empujador y fijarlo utilizando dos pernos y una llave plana hexagonal de 12 mm, tal como se presenta en la Fig. 4.17.

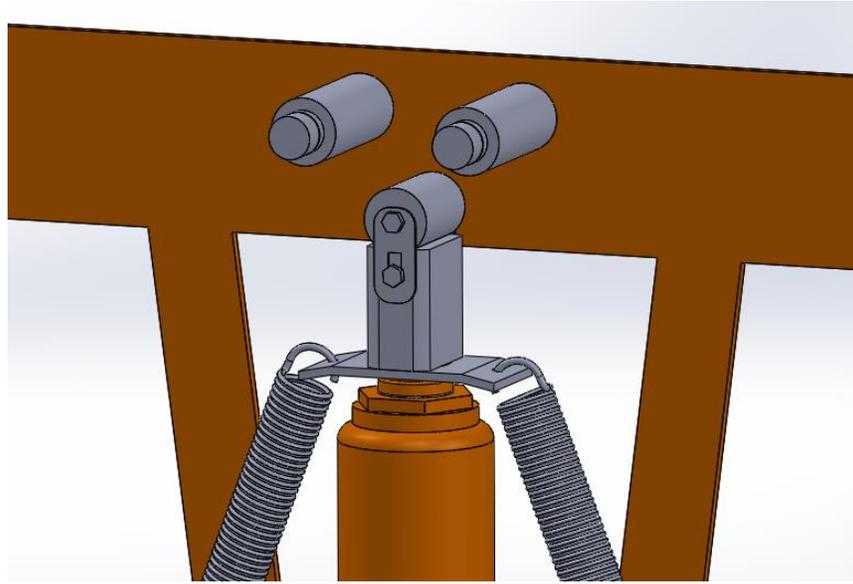


Fig. 4.17. Montaje de la cabeza del empujador.

- d) Se debe colocar la probeta entre la cabeza del empujador y los dos rodillos de apoyo, el cordón de soldadura debe quedar en el centro justamente sobre la cabeza del empujador, tal como se presenta en la Fig. 4.18.

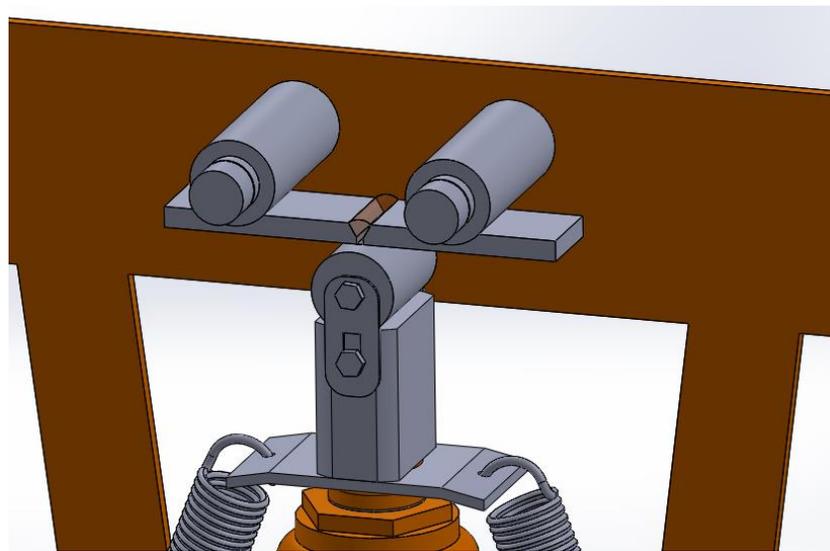


Fig. 4.18. Posición de la probeta para realizar doblado

- e) En un inicio, la probeta se debe sostener con la mano, momentáneamente, para que no pierda su posición mientras se acciona la prensa hidráulica, cuando la probeta ha sido presionada contra los rodillos ya no es necesario

sujetarla con la mano, se realiza una inspección visual verificando que el cordón de soldadura se encuentre justamente en el centro de la cabeza del empujador.

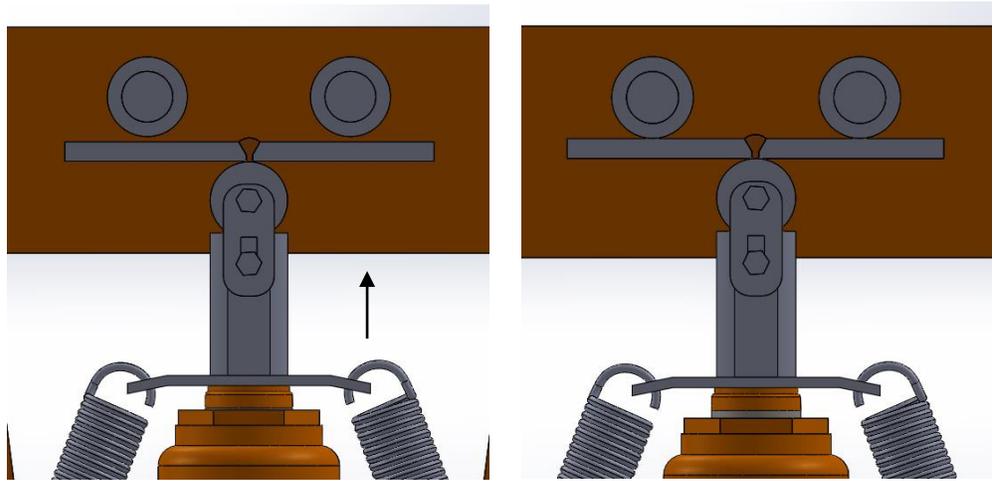


Fig. 4.19. Desplazamiento en el cual se debe sostener la probeta con la mano para que no pierda su posición.

El accionamiento de la prensa hidráulica se realiza utilizando una palanca con la cual se desplaza de manera recíproca el émbolo pequeño, en la Fig. 4.20 se presenta la palanca y el punto donde se introduce para desplazar al émbolo pequeño.

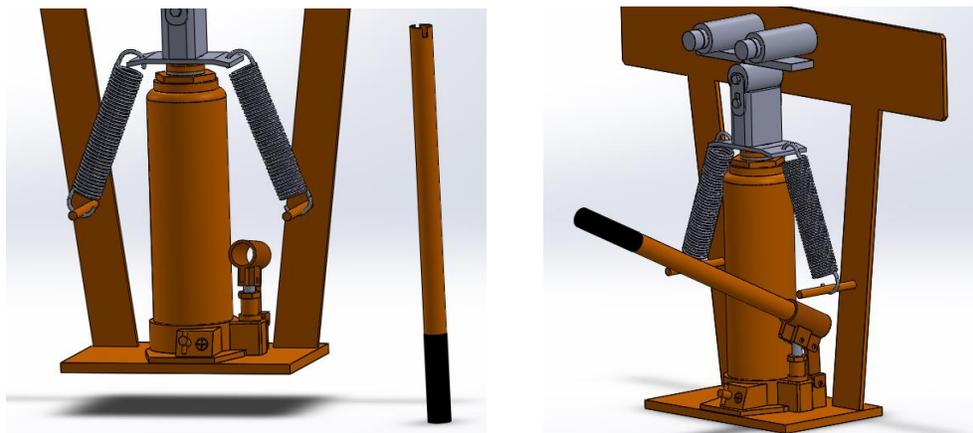


Fig. 4.20. Forma de accionamiento de la prensa hidráulica

- f) Se sigue accionando la prensa hidráulica hasta realizar el doblez por completo como se observa en la Fig. 4.21.

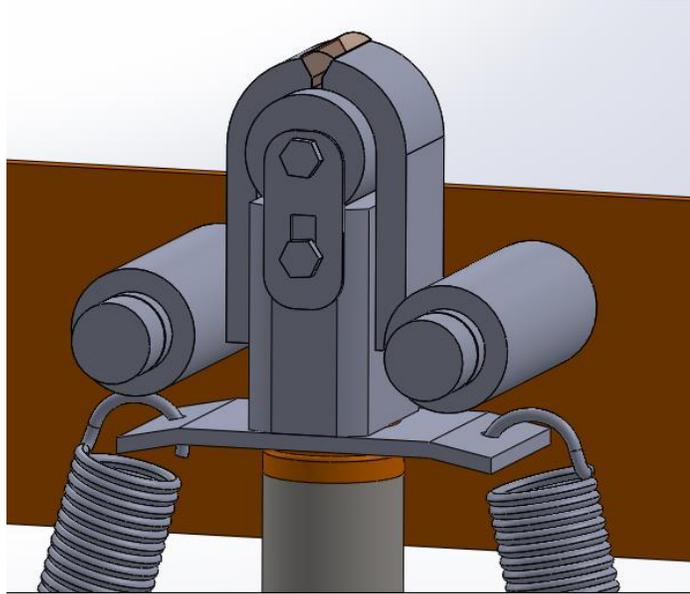


Fig. 4.21. Probeta siendo doblada en la máquina de doblado en U.

Se debe accionar la prensa hidráulica hasta que la probeta salga por la parte superior, teniendo cuidado ya que la probeta puede salir de forma brusca debido a la elasticidad del material, por lo tanto se recomienda colocar un guante de cuero en la parte superior justo en el centro de doblado para que amortigüe la salida de la probeta.

En su primer uso la máquina para ensayos de doblado en U fue probada con los tres espesores para los que fue diseñada 3.18 mm, 6.35 mm y 9.5 mm, generando dobleces satisfactorios como se muestra en la Fig. 4.22. Cabe mencionar que el material que se dobló, contaba con las dimensiones de una probeta pero tenía soldadura alguna.



Fig. 4.22. Dobleces de prueba para espesores de 9.5mm, 6.35mm y 3.18mm.

Se fabricaron diez probetas para poder evaluar el funcionamiento de la máquina para ensayos de doblez en U, a continuación se prestan en la Fig. 4.23 el antes y después del cordón de soldadura de una probeta de 9.5 mm que fue sometida a un doblez transversal de cara.



Fig. 4.23. Cordón de soldadura antes y después del ensayo doblez de cara.

En la Fig. 4.23 se puede apreciar la formación de grietas entre el cordón de soldadura y el metal base, lo que indica que al menos en zona señalada con una flecha existió poca penetración en el metal base.

La siguiente probeta que se muestra en la Fig. 4.24 es un caso donde se realizó una soldadura con un amperaje inadecuado y no se logró la penetración necesaria en la raíz, sin embargo se procedió a aplicar un cordón de soldadura por la raíz del bisel y luego a esmerilarlo, sabiendo que la soldadura era mala se procedió a ensayar la probeta de 9.5 mm realizando doblez transversal de raíz.

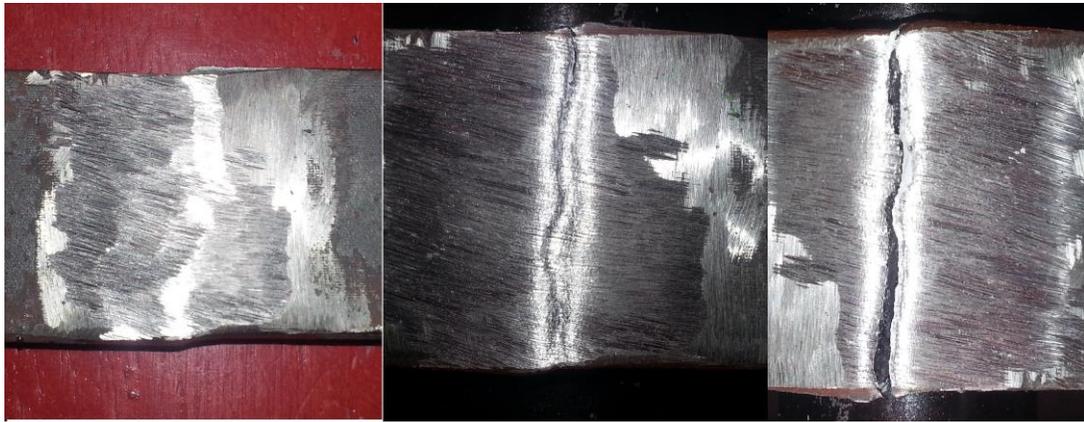


Fig. 4.24. Falla de una probeta en ensayo de doblado de raíz.

Como era de esperarse debido al mal proceso de soldadura la probeta fallo rápidamente, generándose una grieta en todo el ancho de probeta.

La máquina para ensayos de doblez en U, compuesta por la prensa hidráulica y los accesorios, no presento ningún problema para realizar los dobleces, sus piezas fueron examinadas luego de la realización de 10 ensayos y no se encontraron deformaciones ni alguna otra anomalía, por lo tanto la máquina satisface la función de su diseño.

5. COSTOS DEL PROYECTO

En la Tabla 5.1 se detalla las materias primas utilizadas, las cuales fueron los diferentes aceros para la fabricación de los accesorios y las pletinas para la fabricación de probetas, sus costos y medidas.

Tabla 5.1. Costo de la materia prima.

Material	Forma	Dimensión, mm	Costo, \$
Acero AISI 1045	Barra redonda	63.5 Ø x 101.6	5.30
Acero AISI 1045	Barra redonda	38.1 Ø x 63.5	1.25
Acero AISI 1045	Barra redonda	57.15 Ø x 63.5	2.80
Acero AISI 1045	Barra redonda	50.8 Ø x 63.5	2.25
Acero AISI 4340	Barra redonda	25 Ø x 304.8	6.00
Acero AISI 1518	Barra perforada	40 Ø x 25 Ø x 254	6.00
Acero A-36	Pletina	38.1 x 3.18 x 6000	4.73
Acero A-36	Pletina	38.1 x 6.35 x 6000	9.04
Acero A-36	pletina	38.1 x 9.53 x 6000	13.79
Total			51.17

Entre los insumos se pueden mencionar electrodos, discos para cortar acero y brocas. Como se detallan en la Tabla 5.2, existieron otros insumos como brocas centro, buriles, fresas, discos de esmerilar hierro, entre otros, que no fueron agregados a los costos por que se usaron en calidad de préstamo.

Tabla 5.2. Costo de los insumos.

Insumos	Costo, \$
2 discos de corte para de hierro 9 x 1/8 pulg	4.54
4 libras de electrodo de 2.5 mm 6013	6.15
1 broca HSS de 24.6 mm Ø	16.34
Total	27.03

La mano de obra está compuesta por el maquinado de las piezas y fabricación de las probetas y en la Tabla 5.3 se detalla el costo de mano de obra por cada pieza.

Tabla 5.3. Costo de la mano de obra.

Pieza u operación	Cantidad	Costo unitario, \$	Costo total, \$
Eje de rodillo de apoyo	2	10.00	20.00
Rodillo de apoyo	2	10.00	20.00
Cabeza de empujador	3	20.00	60.00
Cuerpo de empujador	1	40.00	40.00
Taladrado de las placas de la prensa	4	2.50	10.00
Fabricación de probetas	10	5.00	50.00
Total			200.00

La prensa hidráulica que se utilizó es originalmente una dobladora de tubo, su costo es de \$150.00 y fue escogida debido a su capacidad y puesto que dispone de una estructura que facilita el montaje de los accesorios para realizar el doblado en U.

Las normas fueron compradas mediante internet y son base fundamental para el proyecto debido a que la información encontrada en algunos libros era general y escueta, en Tabla 5.4 se detalla cada norma y su costo.

Tabla 5.4. Costo de las normas compradas.

Norma	Costo, \$
ASTM E-190	40.00
AWS B.4:2007	108.00
Total	148.00

Los principales costos del proyecto se generan bajo la dificultad de no tener referencias bibliográficas, se debió invertir en la compra de algunas normas que fueron base fundamental para la realización del proyecto, la adquisición de materiales, el maquinado de piezas, la prensa hidráulica entre otros, así en la Tabla 5.5 se presenta un resumen de los costos del proyecto.

Tabla 5.5. Costos del proyecto.

Items	Costo, \$
Materia Prima	51.17
Insumos	27.03
Mano de Obra	200.00
Prensa hidráulica	150.00
Normas	148.00
Total	576.2

Se considera que los costos para obtener una máquina para realizar el ensayo de doblado en U son bajos y cualquier empresa o institución educativa relacionada con los procesos de soldadura, pueda obtener una máquina como la presentada en este trabajo y agregar un ensayo para la evaluación de la ductilidad en sus soldaduras y que aunado a los otros ensayos de soldadura, pueda ser una herramienta útil para la mejora continua.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y fabricó de manera satisfactoria los accesorios que se acoplan a una prensa hidráulica y que en conjunto permiten realizar el ensayo de doblez en U.
- Bajo los cálculos de diseño y utilizando un criterio de seguridad conservador se determinó que es posible ensayar probetas de hasta 10 mm de espesor, con dicha máquina para realizar ensayo de doblez en U, la cual está formada a partir de accesorios acoplados a una prensa hidráulica de 12 toneladas.
- La máquina para realizar el ensayo de doblez en U, creada a partir de los accesorios fabricados y acoplados a una prensa hidráulica de 12 toneladas, permiten en forma satisfactoria ensayar probetas de tres diferentes espesores, con solo intercambiar un elemento al cual se le denomina cabeza del empujador.
- Debido a la geometría de la máquina para realizar el ensayo de doblez en U, es posible visualizar la zona de doblez al realizar el proceso y así poder apreciar el momento en que se producen la formación de grietas en la soldadura.
- Las dimensiones de doblez en U, que genera la máquina creada a partir de los accesorios fabricados y acoplados a una prensa hidráulica de 12 toneladas, cumplen con las especificaciones de norma ASTM E-190-92.
- Las dimensiones de las probetas así como el proceso de soldadura para éstas es acorde a las normas ASTM E-190-92, AWS B4 y AWS Libro de Evaluación de Especificaciones.

RECOMENDACIONES

- El ensayo de doblez en U para evaluar ductilidad en la soldadura, se recomienda para probeta con espesor de 10 mm (3/8 de pulg), ya que al realizar los ensayos, fue en este espesor de probeta en donde la formación de grietas en la soldadura fue más evidente.
- Para la máquina de ensayo de doblez en U, construida a partir de los accesorios fabricados y acoplados a una prensa hidráulica de 12 toneladas, se recomienda diseñar, fabricar e instalar un enrejado de seguridad, que proteja al operario de cualquier esquirla producida al fallar una probeta. También, dicho enrejado de seguridad, debe evitar cualquier riesgo durante el momento que la probeta sale de entre los rodillos de apoyo, ya que debido al coeficiente de restitución el material tiende a desdoblarse ligeramente, pudiendo producir una salida brusca de la probeta, aunque dicho enrejado de seguridad siga permitiendo que durante el momento de realizar el ensayo se pueda visualizar la zona de doblez de la probeta.
- Se recomienda que el operario de la máquina de doblez en U y demás personal alrededor de la máquina, usen gafas de seguridad contra impactos, así también durante el proceso de soldadura y/o fabricación de las probetas se recomienda el uso de equipo de protección personal.

REFERENCIAS

- [1] ASTM (2003). Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds: Norma E 190 – 92

- [2] ASTM (2008). Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds: Norma E 190 – 92

- [3] AWS (2007). Standard Methods for Mechanical Testing of Welds: An American National Standard B4.0

- [4] AWS (2006). Evaluación de inspector en soldadura. Parte B Libro de evaluación de especificaciones.

- [5] Ruiz Luna, José (2007). Proyecto de Mejoramiento de Tecnología de Estampado y Troquelado, Calculo de Doble L, U y V: CIDESI & JICA.

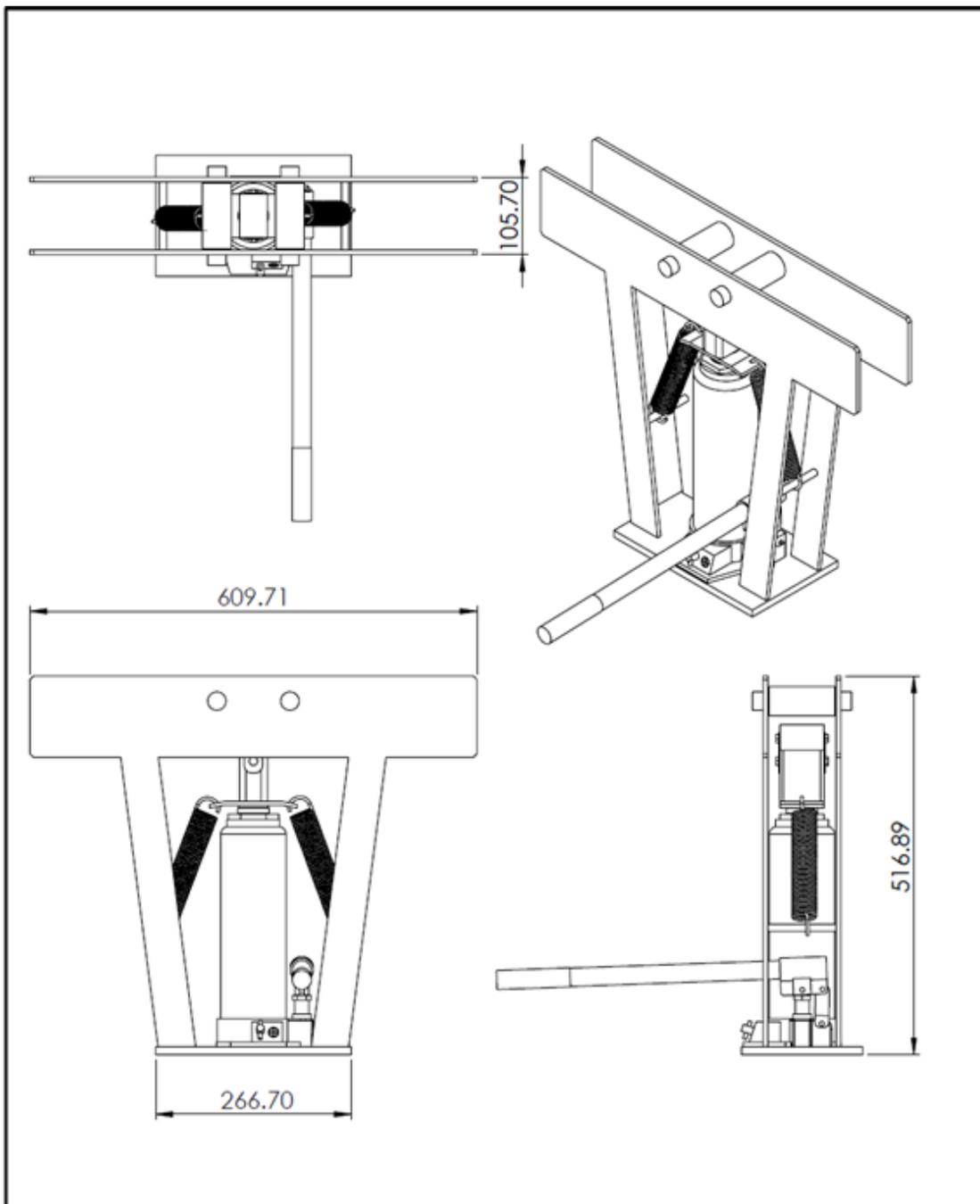
- [6] Vanegas Useche, Libardo V. (2011). Página del profesor Libardo V. Vanegas Useche: Universidad Tecnológica de Pereira. Capítulo 6 Esfuerzos de Contacto. <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap6.pdf>.

- [7] FAIRES, V. M. (1995) Diseño de Elementos de Máquinas. México: Editorial Limusa, 4ª Reimpresión.

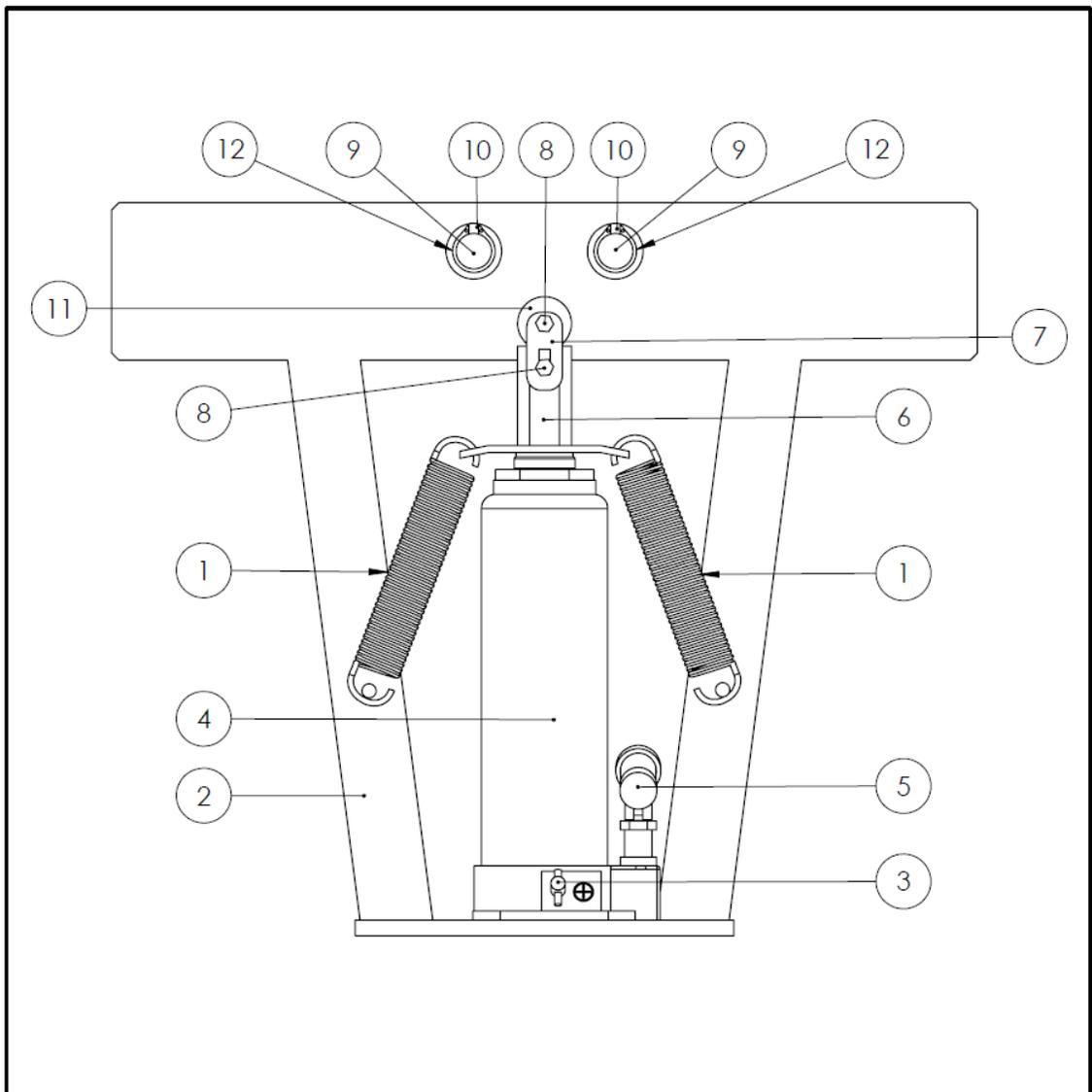
- [8] Budynas Richard G. y Nisbett J. Keith (2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mc Graw Hill. Octava edición.

ANEXOS

ANEXOS A. PLANOS



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio para ensayos de doblez en U, que se acople a una prensa hidráulica	ESCALA: 1:7
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Eduardo Luis López	UNIDADES: mm
N° PLANO: 1	FECHA: 10/04/2017	MÁQUINA DE DOBLEZ EN U	

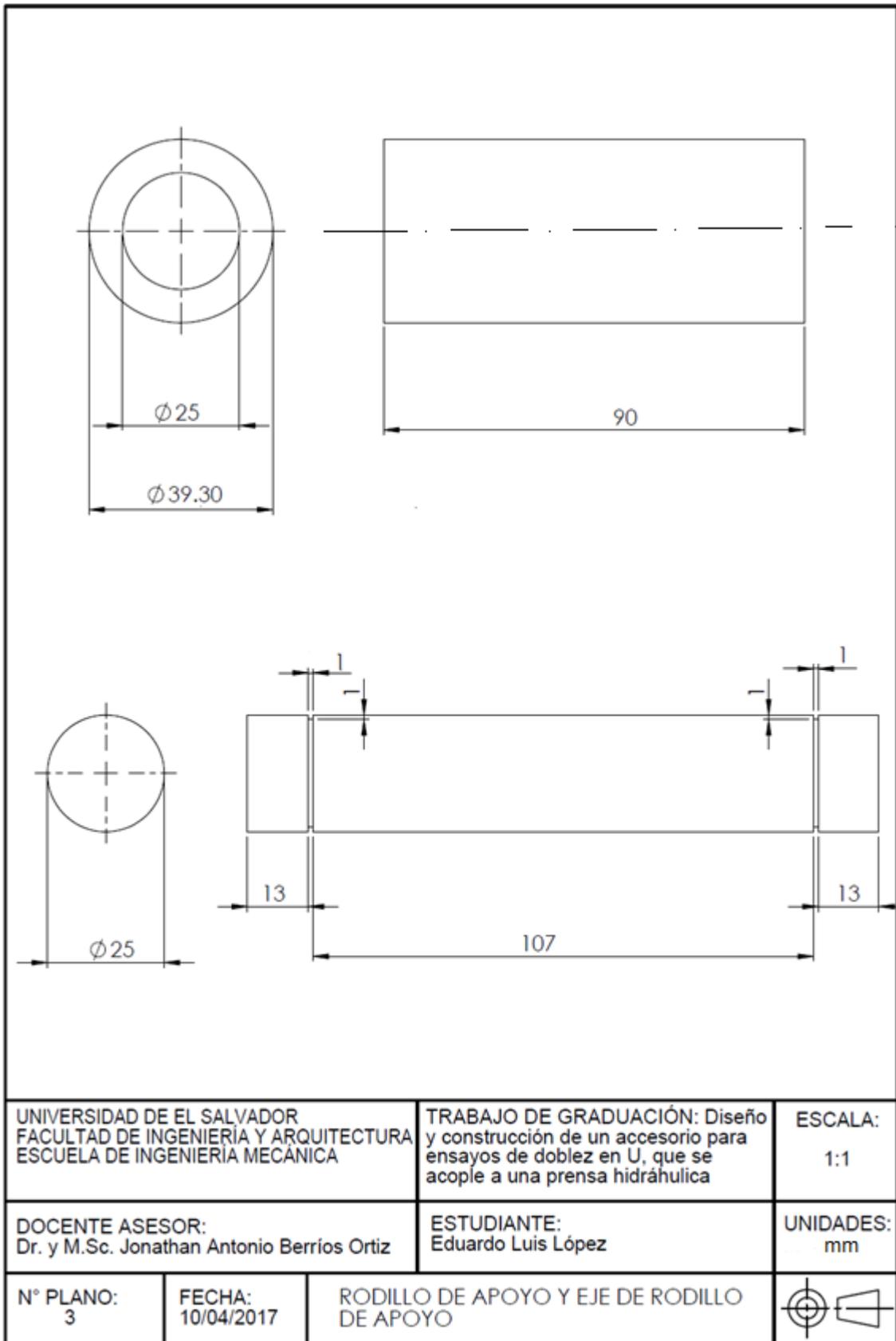


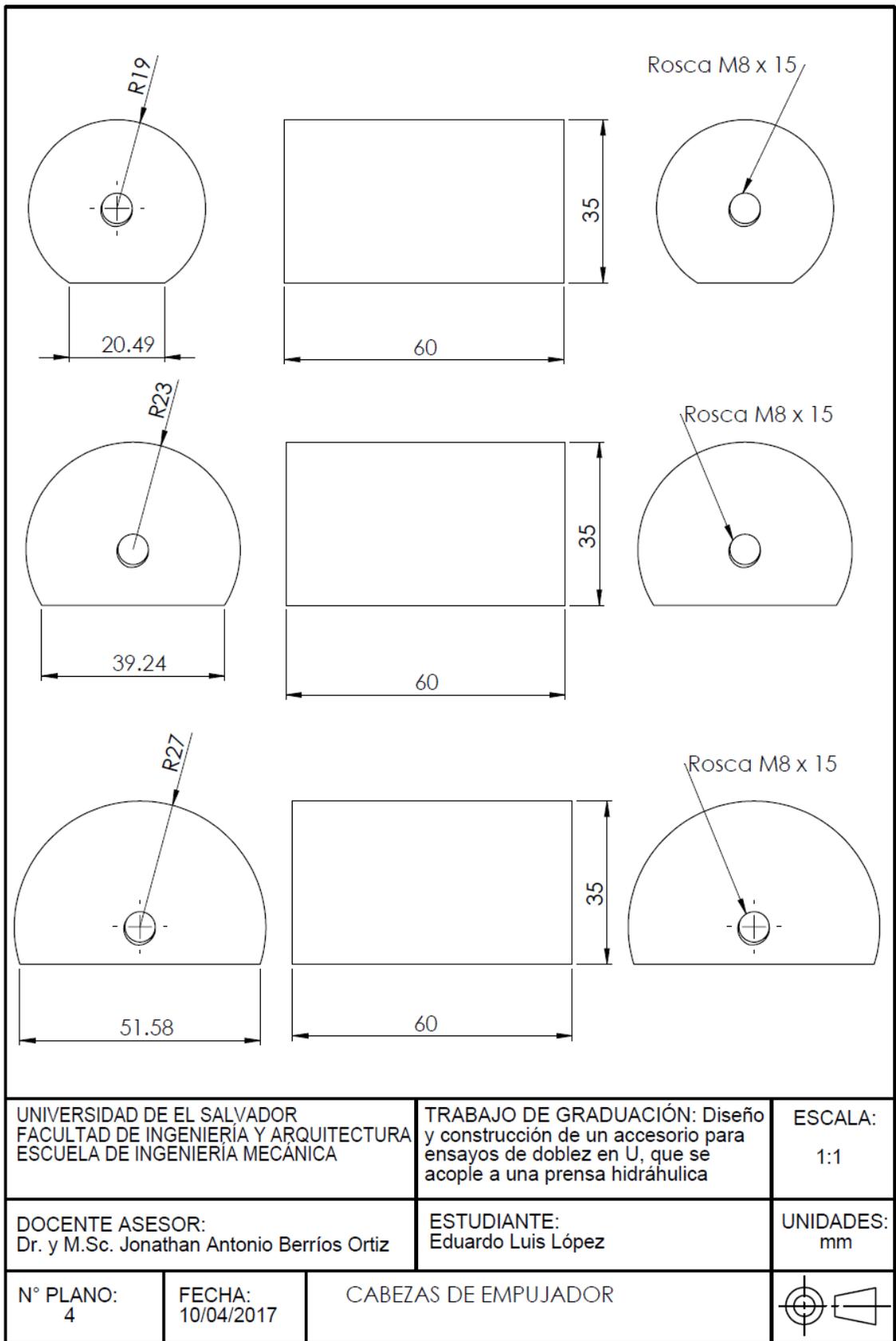
1	Resortes de prensa hidráulica	7	Placas de sujeción
2	Estructura de prensa hidráulica	8	Pernos
3	Válvula de despresurización	9	Ejes de rodillos de apoyo
4	Cilindro hidráulico	10	Rodillos de apoyo
5	Palanca para accionar prensa hidráulica	11	Cabeza del empujador
6	Cuerpo del empujador	12	Arandelas seeger

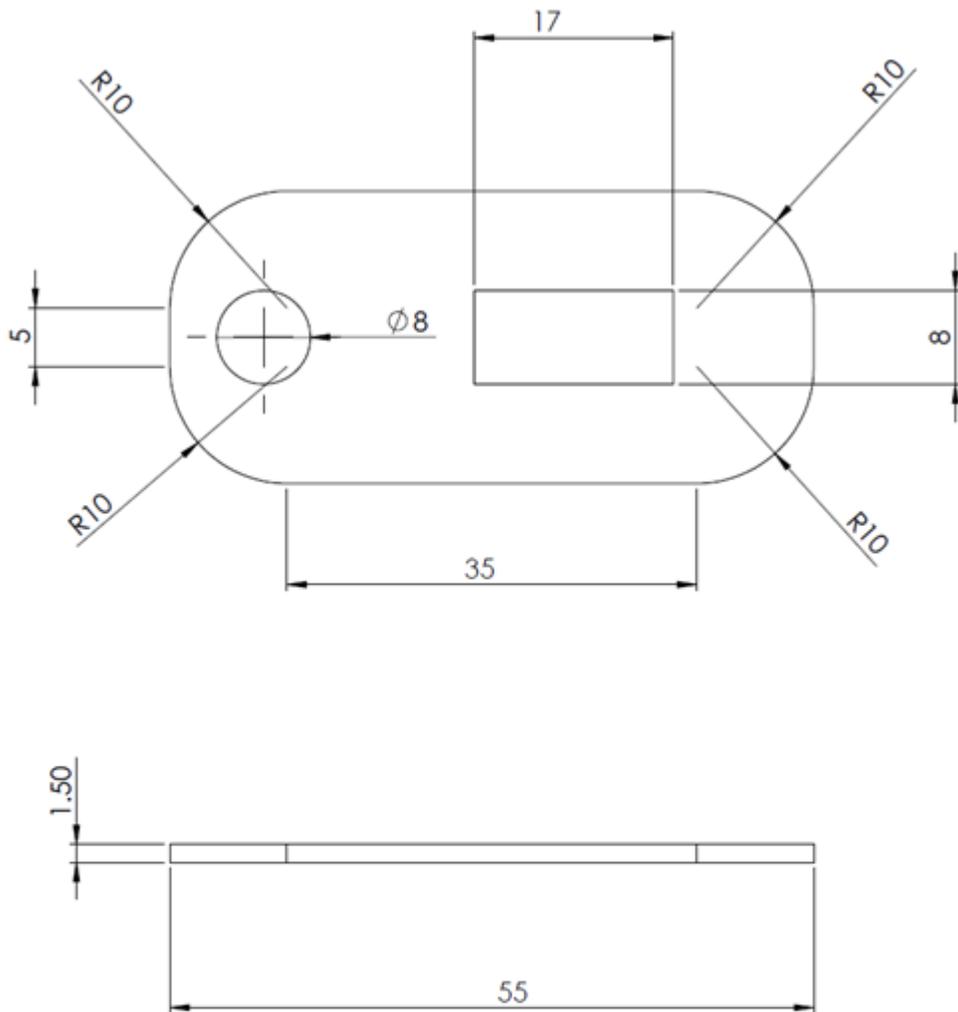
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio para ensayos de doblez en U, que se acople a una prensa hidráulica	ESCALA: 1:4
---	---	----------------

DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz	ESTUDIANTE: Eduardo Luis López	UNIDADES: mm
---	-----------------------------------	-----------------

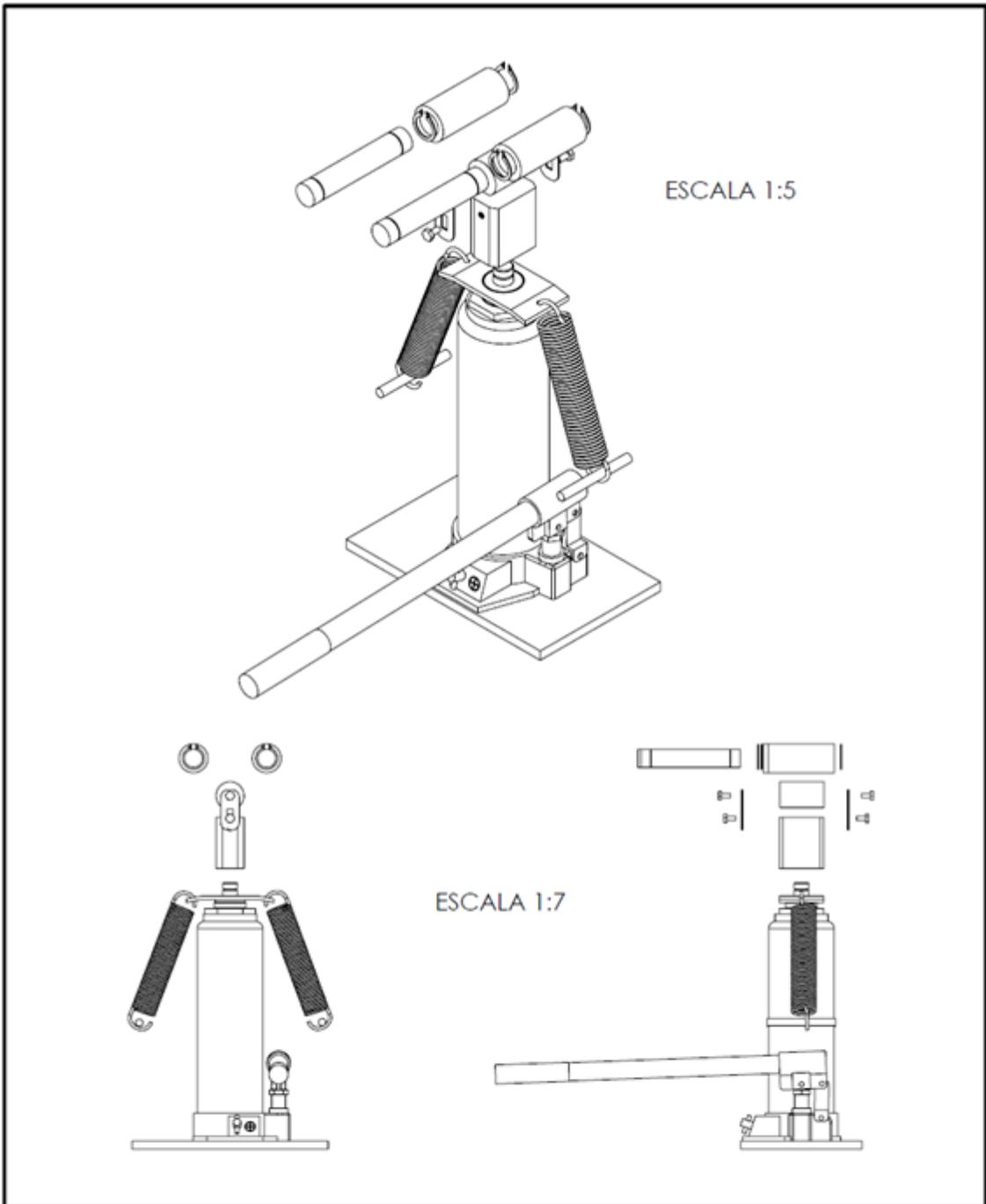
N° PLANO: 2	FECHA: 10/04/2017	MÁQUINA DE DOBLEZ EN U SIN PLACA FRONTAL	
----------------	----------------------	---	--







UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio para ensayos de dobléz en U, que se acople a una prensa hidráulica	ESCALA: 2:1
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Eduardo Luis López	UNIDADES: mm
N° PLANO: 6	FECHA: 10/04/2017	PLACAS DE SUJECIÓN	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un accesorio para ensayos de dobléz en U, que se acople a una prensa hidráulica	ESCALA: 1: X
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTE: Eduardo Luis López	UNIDADES: mm
N° PLANO: 7	FECHA: 10/04/2017	DIBUJO DE ENSAMBLE	

ANEXOS B.- FACTURAS



ACEROSAL S.A. de C.V.

ACEROS Y SALES SALVADOREÑOS, S.A. de C.V.
INDUSTRIAS BASICAS DE HIERRO Y ACERO
COMERCIALIZACION DE ACEROS

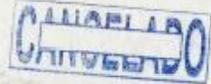
Calle San Martín, No. 617, Bar. San Jacinto,
 Apartado Postal 11001
 San Salvador, El Salvador, C.A.
 Tels.: (503) 2270-7264, (503) 2270-4625
 Fax: (503) 2270-1516, (503) 2270-1043 Telefax: 2070-1519
 E-mail: acerosal@gmail.com

COMPROBANTE DE CREDITO FISCAL
19SD000C
No. 01561
NRC: 728 - 5
NIT: 0614 - 030287 - 001 - 7

Cf AF1561

Cliente: Dirección: Municipio: Departamento: Nota de Remisión: Giro: REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS NC.	Fecha: 08 04 2017 NRC.: NIT: Condición: CONTADO Orden No.: Vendedor: Autoriza: KATY GONZALEZ
--	---

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNITARIO	V. NO SUJETAS	V. EXENTAS	V. AFECTAS
1212016	1.00	ACERO AISI 1045 CAL DE 2.1/2" Ø X 4"	\$4.69	\$0.00		\$4.69
1212010	1.00	ACERO AISI 1045 CAL DE 1.1/2" Ø X 2.1/2"	\$1.11	\$0.00		\$1.11
1212012	1.00	ACERO AISI 1045 CAL DE 2.1/4" Ø X 2.1/2"	\$2.48	\$0.00		\$2.48
1212012	1.00	ACERO AISI 1045 CAL DE 2" Ø X 2.1/2"	\$1.99	\$0.00		\$1.99



**NO SE ACEPTAN
 DEVOLUCIONES
 DE MATERIALES
 YA CORTADOS
 ACEROSAL, S.A. DE C.V.**

Son: Once 61/100 Dolares.	Sumas 13% de IVA Sub-Total (-) IVA Retenido Venta No Sujeta Ventas Exentas Venta Total
	\$10.27 \$1.34 \$11.61 \$11.61

ENTREGADO POR: Nombre: DUI: FIRMA:	RECIBIDO POR: Nombre: DUI: FIRMA:	
---	--	--

NOTA: ACEROSAL S.A. de C.V. no se hace responsable por el tratamiento térmico que las piezas le dan a los orones. lo cual no se puede controlar las flechas o grietas después de este tratamiento por las variaciones y dimensiones de los rolamos de los orones en el tratamiento térmico. No se aceptan devoluciones, una vez hayan sido procesados y cortados, la venta del material de nuestros materiales es según Din A-2. En caso de acción judicial se sigue el domicilio de San Salvador.



OBERBERG STAHL-STEEL
 Edelstahlwerke & Co.
 ACEROS DE CALIDAD CERTIFICADA
 ORIGINAL CLIENTE

Standards & Publications

All Standards and Publications

Standards Products

Symposia Papers & STPs

Manuals, Monographs, & Data Series

Journals

Reading Room

Authors

Book of Standards

Reading Room

Product Updates

Catalogs

ASTM E190 - 14 ⓘ

Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds

Active Standard ASTM E190 | Developed by Subcommittee: [E28.02](#)

Book of Standards Volume: [03.01](#)

	Format	Pages	Price	
	PDF	4	\$40.00	ADD TO CART
	Hardcopy (shipping and handling)	4	\$40.00	ADD TO CART
	Standard + Redline PDF Bundle ⓘ	8	\$48.00	ADD TO CART

Recommended

[Standards Tracker](#)

[Standards Subscriptions](#)

Customers frequently also buy:

[A370](#)

[E18](#)

Related Standards:

[See All](#)

American Welding Society

[Register](#) | [Log in](#) | [FAQ](#) | [Contact](#) | [Cart \(0\)](#)

Online Store

ONLINE STORE HOME

PUBLICATIONS

PROCEDURES

SUBSCRIPTIONS

TRANSLATIONS

NEW PUBLICATIONS

Search

CATEGORIES

- Aerospace
- Aluminum
- Automotive
- Brazing and Braze Welding
- Bridges
- Carbon Steel
- Cast Iron
- Certification (See Also Qualification)
- Charts
- Computerization
- Consumables
- Corrosion Resistance
- Cutting (See Also Oxyfuel Welding and Cutting)
- Design
- Education and Training (See Also

B4.0:2007 STANDARD METHODS FOR MECHANICAL TESTING OF WELDS

Member Price: \$81.00
Non-Member Price: \$108.00

Mechanical test methods that are applicable to welds and welded joints are described. For each testing method, information is provided concerning applicable American National Standards Institute (ANSI), American Society for Testing and Materials (ASTM), and American Petroleum Institute (API) documents; the required testing apparatus, specimen preparation, procedure to be followed, and report requirements are also described. ISBN 978-0-87171-071-0

Preview

Spanish Version

La Casa del Soldador, S.A. de C.V.

VENTA AL POR MAYOR DE ARTICULOS DE FERRERIA Y PINTURERIAS.

COMPROBANTE DE CREDITO FISCAL
 16SD000C
No. 61773
 NRC: 279 - 8
 NIT: 0614 - 160180 - 001 - 2

SUCURSAL 5
E1773

E-mail: lacasadelosoldador.com.sv

61 AVENIDA NORTE No. 163, SAN SALVADOR, TELS.: 2260-5100, 2260-5084, 2260-5101, 2260-5350, FAX: 2260-6136

29 CALLE PONENTE No. 1011 SAN SALVADOR, TELS.: 2225-5933, 2225-6098 Y 2225-0991

CENTRO COMERCIAL SOYAPANGO LOCALES 13 Y 16 SOYAPANGO, TELS.: 2277-6412 Y 2277-4146

BLVD. CONSTITUCION Y FINAL CALLE SOMEROS, SAN SALVADOR, TELS.: 2284-4038, 2284-4071, 2284-4783

URBANIZACION REPARTO LOS HERCULES, CALLE TENIENTE MIGUEL ANGEL GARCIA No. 75, SAN SALVADOR, TEL.: 2273-1797

VENDEDOR: 5-0F

CLIENTE: [REDACTED] 7528 REG.: [REDACTED] NIT: [REDACTED]

DIRECCION: [REDACTED] COND. DE PAGO: CONTADO FECHA: 09/05/2017

MUNICIPIO: MEJICANOS DEPTO.: SAN SALVADOR GIRO: REPARACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIP

ENTREGAR EN: [REDACTED] ORDEN DE COMPRA: [REDACTED] NOTA REMISION: [REDACTED] FECHA N. REMISION: [REDACTED]

CANTIDAD	UNIDAD	CODIGO PRODUCTO	MARCA	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VTAS. NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS AFECTAS
1	C/U	H316-6068	ZZW	BROCA HSS 31/32"x1/2"	\$ 14.46			\$ 14.46

LLENAR EN OPERACIONES SUPERIORES \$11,428.58		NOMBRE:	SUMAS	\$ 14.46
SON:	DIECISEIS 34/100 DOLARES	D.U.I.	13% IVA	\$ 1.88
		F. ENTREGADO AUTORIZADO	SUB - TOTAL	\$ 16.34
			(+) 1% IVA PERCIBIDO	\$ 0.00
		HECHO POR NOMBRE:	(-) 1% IVA RETENIDO	\$ 0.00
		D.U.I.	V. NO SUJETAS	\$ 0.00
		RECIBIDO / SELLO RECIBIDO	V. EXENTAS	\$ 0.00
		ANTONIO	VENTA TOTAL	\$ 16.34

YO RECONOZCO Y DECLARO QUE DEBO Y PAGARE DENTRO DEL PLAZO DE 30 DIAS A LA CASA DEL SOLDADOR, S.A. DE C.V. LA CANTIDAD EN DOLARES QUE APARECE COMO TOTAL EN EL PRESENTE DOCUMENTO POR MERCADERIAS O SERVICIOS QUE EN ESTA FECHA ME RECIBIDO, EN CASO DE MOROSIDAD PAGARE EL 3% DE INTERES MENSUAL Y RENUNCIO AL DERECHO DE APELACION QUE ME CONFIERE LA LEY ANTE CUALQUIER ACCION JUDICIAL.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES

ORIGINAL-CLIENTE

COMPROBANTE DE CREDITO FISCAL
 No. 11245
 NIT: 8614-178579-601-E • NRC: 307-7

ID: 1020251 CCF: 11245 SUCURSAL: LA TIENDONA

CLIENTE: [REDACTED] FECHA: 03/04/2017

DIRECCION: [REDACTED] CODIGO: CD1633

GIRO: Reparación y mantenimiento de maquinarias RECIBI TRANSPORTE. No. NOTA DE REMISION: [REDACTED]

VEHICULO: [REDACTED] CONTADO: Al Contado VENDEDOR: TIENDONA CREDITO: No. REGISTRO: [REDACTED]

CODIGO	CANT.	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VTAS. NO SUJETAS	VTAS. AFECTAS
110004001	1.00	LN	PLATINA 1-1/2X1/8X8MTS	4.19		4.19
110004003	1.00	LN	PLATINA 1-1/2X1/4X8MTS	8.00		8.00
110004004	1.00	LN	PLATINA 1-1/2X3/8X8MTS	12.20		12.20
410000003	2.00	LN	DISCO P/HIERRO 9X1/8 NORTON	2.01		4.02
423000004	4.00	LB	OK 6013 3/32	1.36		5.44

SON: TREINTA Y OCHO DOLARES CON 25/100 CTVOS

HECHO POR: [Signature]	RECIBI C.C.F. NOMBRE: [Signature]	SUMAS	33.85
RECIBI C.C.F. NOMBRE: [Signature]	FIRMA: [Signature]	IVA	4.49
		(-) 1% IVA PERCIBIDO	0.00
		VTAS. NO SUJETAS	
		VENTAS EXENTAS	
		VENTA TOTAL	39.25

DESPUES DE 30 DIAS DE ENTREGA DEBE COMPENSARME SI ACEPTO RECLAMO DE ANULACION O EN EVENTUALES DEVOLUCIONES LAS MERCADERIAS DEBERAN SER DEVOLVIDAS EN LAS MISMAS CONDICIONES EN QUE FUERON RECIBIDAS POR EL CLIENTE.

INVERCALMA, S.A. DE C.V. E-mail: atencion@invercalma.com.sv

ORIGINAL-CLIENTE



ACEROS Y MATERIALES

VENTA DE OTROS PRODUCTOS NO CLASIFICADOS PREVIAMENTE
CATEGORIA DE CONTRIBUYENTE: MEDIANO
 ANTIGUA CALLE FERROCARRIL No 1915 COL. CUJUMACAYAN
 SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.
 PBX.: (503) 2271-2200, TEL.: 2231-0200, FAX: (503) 2222-5691

COMPROBANTE DE CREDITO FISCAL
 No. 16SD000C **12867**
 NRC: 4564 - 0
 NIT: 0614 - 080777 - 002 - 6

VENDIDO A: [Redacted]

FECHA EXPEDICION: 03/04/2017 NIT: [Redacted] CF-012867
 FECHA VENCIMIENTO: [Redacted] GIRO: FABRICACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO N.C.P.

NRC	NOTA DE REMISION	CONDICIONES DE PAGO	ENVIAR A	SU No DE REF.	VENDEDOR
		CONTADO			OFICINA

CANT.	CODIGO ARTICULO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	VTAS. NO SUJETAS	V. EXENTAS.	V. AFECTAS
1.00	705M-001	ACERO 4340 DE 25MM X 12"	5.31			5.31
1.00	BP-00007	BARRA PERFORADA 40*25 MM X 10"	5.31			5.31



CANCELADO

SON: DOCE 00/100 DOLARES			SUMA		10.62
			IVA	0.00	1.38
			SUB TOTAL		12.00
			(-) 1% IVA RETENIDO		0.00
			V. NO SUJETAS		0.00
			V. EXENTAS		0.00
			V. TOTAL		12.00

" DONDE LA CALIDAD DE LOS ACEROS SIEMPRE CUESTA MENOS "

OPERACION SUPERIOR A \$11,428.56

NOMBRE: [Redacted] DUI & NIT: [Redacted] FIRMA DE ENTREGADO: [Redacted]

OPERACION SUPERIOR A \$11,428.56

NOMBRE: [Redacted] DUI & NIT: [Redacted] FIRMA DE RECIBIDO: [Redacted]

EMITIR CHEQUES A NOMBRE DE "MAPRIMA, S.A. DE C.V." * NO ACEPTAMOS DEVOLUCIONES DE MATERIAL CORTADO

EN CASO DE MORA RECONOCEREMOS EL 3.5% DE INTERES MENSUAL.

PAGARE

YO, PAREDES LOPEZ, FRANKLIN WALBERTO PAGARE EN ESTA CIUDAD A LA ORDEN DE

MAPRIMA, S.A. DE C.V., LA CANTIDAD DE DOCE 00/100 DOLARES

POR MERCADERIAS RECIBIDAS EN BUEN ESTADO A ESTA FECHA, EL DIA 03 DE ABR DE 17 EN CASO DE MORA RECONOCERE EL 3.5% DE INTERES MENSUAL.

SAN SALVADOR, 03 DE ABR DE 17

FIRMA DE ENTREGADO: [Redacted] FIRMA DE RECIBIDO: [Redacted]

- ORIGINAL - CLIENTE -