

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

---

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE DOBLEZ GUIADO EN U PARA EL  
TALLER DE SOLDADURA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
METALURGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

---

**PRESENTADA POR:**

Br. GERSON ROBERTO ENRIQUEZ CUTI

Br. SEBASTIAN DIEGO MINAYA MOLLINADO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALÚRGICO**

**ASESOR:**

ING. LEONARDO AVILES HINOJOSA

CUSCO - PERÚ

2024

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Diseño y Construcción de un Equipo de Doblez Guiado en U para el Taller de Soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

presentado por: Sebastián Diego Minaya Mallinada con DNI Nro.: 72372054 presentado por: Gerson Roberto Enriquez Cuti con DNI Nro.: 46951529 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Metalúrgico.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3%.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de Abril de 2025



Firma

Post firma Leonardo Aviles Hinojosa

Nro. de DNI 23984953

ORCID del Asesor 0000-0002-1851-9172

### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:449173352

# Gerson Roberto Enríquez Cuti S

## DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE DOBLEZ GUIADO EN U PARA EL TALLER DE SOLDADURA DE LA ESCUE...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:449173352

Fecha de entrega

14 abr 2025, 5:19 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 abr 2025, 5:29 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS LEVANTADA DE OBSERVACIONES.docx

Tamaño de archivo

3.4 MB

108 Páginas

16.456 Palabras

85.919 Caracteres

# 3% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 30 words)

## Exclusions

- ▶ 69 Excluded Matches

---

## Top Sources

- 3%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

---

## Integrity Flags

### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## DEDICATORIA

A mis padres, Nicolasa y Roberto, por haberme enseñado la resiliencia necesaria para afrontar la vida y los momentos difíciles, una cualidad que me ayudó en muchos aspectos y que me permitió forjarme como la persona que soy ahora.

A mis hermanos, Diana y Dennys, por acompañarme siempre en este camino que, aunque muchas veces fue difícil, siempre estuvieron conmigo.

A mis familiares, que también estuvieron presentes; en especial, a mi padrino Leo y a Erli, quien, junto con su familia, me ayudó y aconsejó. Al igual que mis padres, me dieron los sermones necesarios para seguir adelante.

Muchos de mis logros se los debo a ustedes, incluyendo este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero, al final de cuentas, me motivaron a seguir adelante con mis sueños y metas.

Gracias mamá, papá, hermanos y familia mía.

Gerson Enríquez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, a mi padre Cesar, mi madre Ruth, mi hermano Gerardo, mis tios Walter, Yeni y Margot, a mis abuelos que nos guían desde arriba Lorenzo Mollinedo y Honorata Prado, por siempre haber estado en los momentos más difíciles de mi vida y haberme guiado por un camino correcto, por su motivación lo cual inspira a mi persona a ser mejor cada día. A los docentes de nuestra escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica quienes me brindaron el conocimiento y aportaron en mi formación académica, a nuestra querida Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco que hace posible nuestra formación personal y profesional.

Sebastián Diego Minaya Mollinedo

## AGRADECIMIENTO

Darle principalmente las gracias a DIOS, a nuestra Universidad por la capacitación personal, y de nuestra carrera de Ingeniería Metalúrgica. Agradecer a nuestro asesor el Ing. Leonardo Avilés Hinojosa, por el apoyo y conocimiento ofrecido a nuestra investigación, igualmente a todos nuestros docentes que nos dieron las bases suficientes para nuestra carrera, y nuevamente a mis padres le agradezco por el apoyo y sus esfuerzos hechos durante mi etapa de la vida universitaria.

Gerson Roberto Enríquez Cuti

Darle principalmente las gracias a DIOS, a nuestra Universidad por la capacitación personal, y de nuestra carrera de Ingeniería Metalúrgica. Agradecer a nuestro asesor Ing. Leonardo Avilés Hinojosa por el apoyo y conocimiento ofrecido a nuestro trabajo de tesis, igualmente a todos nuestros docentes que nos dieron las bases suficientes para nuestra carrera, y nuevamente a mis padres le agradezco por el apoyo y sus esfuerzos hechos durante mi etapa de la vida universitaria.

Sebastián Diego Minaya Mollinedo

## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica

Señores Docentes, miembros del Jurado:

Cumpliendo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente en la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, y con el objeto de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a vuestra disposición la tesis colectiva intitulada: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO DE DOBLEZ GUIADO EN U PARA EL TALLER DE SOLDADURA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA.

Este equipo será destinado al taller de soldadura de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica para apoyar en la formación práctica de los estudiantes y en el desarrollo de proyectos de investigación en el ámbito de la soldadura.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iv
PRESENTACIÓN.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
SIMBOLOGIA .....	xv
CAPÍTULO I .....	1
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Planteamiento Del Problema.....	1
1.2 Problema General y Específicos .....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos .....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivo general y Específicos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Alcances y Limitaciones del Proyecto .....	4
1.5.1 Alcance .....	4
1.5.2 Limitaciones.....	4
CAPITULO II.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	5
2.1 Antecedentes de investigación .....	5
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	6
2.2 Marco Teórico .....	6
2.2.1 Diseño .....	6

2.2.2	Importancia del Diseño .....	7
2.2.2.1	Definición de diseño.....	7
2.2.2.2	Herramientas y recursos de diseño.....	8
2.3	Ensayo de Doblado Guiado.....	10
2.3.1	Principios del Ensayo de Dobleza Guiado.....	10
2.3.2	Dispositivos Para la Realización del Ensayo de Dobleza.....	11
2.3.2.1	Dispositivo tipo Former (Tipo U). .....	11
2.3.2.2	Dispositivo tipo Roller (Wrap Around – Envolverte). .....	12
2.3.2.3	Ventajas y desventajas de los dispositivos tipo Former y Wrap Around.....	13
2.4	Prueba de Dobleza .....	15
2.5	Aceros.....	18
2.5.1	Clasificación de los Aceros.....	19
2.5.2	Acero Estructural .....	20
2.5.2.1	Ventajas y Desventajas.....	20
2.6	Selección de Material .....	22
2.6.1	Propiedades Principales que Debe Reunir el Acero .....	22
2.7	Selección del Tipo de Acero para la Construcción del Equipo.....	23
2.7.1	Acero ASTM A36.....	23
2.7.1.1	Aplicaciones del acero ASTM A36. ....	24
2.7.1.2	Formas de presentación del acero estructural ASTM A36 .....	24
2.7.1.3	Propiedades mecánicas y composición química .....	31
2.8	Conceptos Básicos de Soldadura.....	31
2.8.1	Definición de Soldadura .....	31
2.8.1.1	Soldabilidad.....	32
2.8.2	Proceso de soldadura por Arco con Electrodo Revestido - SMAW .....	34
2.8.2.1	Definición y descripción general.....	34
2.8.2.2	Principio de funcionamiento. ....	35
2.8.2.3	Ventajas y Limitaciones del Soldeo .....	37
2.8.2.4	Variables de soldeo del proceso .....	38
2.9	Tipos de junta.....	41
2.10	Posiciones de Soldadura.....	42

2.11	Pruebas no Destructivas .....	43
2.12	Discontinuidades y Defectos en la Soldadura .....	44
2.12.1	Porosidad.....	44
2.12.2	Fusión Incompleta.....	45
2.12.3	Falta de Penetración .....	46
2.12.4	Inclusiones de Escoria.....	46
2.12.5	Socavamiento .....	47
2.12.6	Grietas o Fisuras .....	47
2.13	Normas de Admisibilidad.....	49
2.13.1	Porosidad.....	49
2.13.2	Fusión Incompleta.....	50
2.13.3	Grietas o Fisuras .....	50
2.13.4	Inclusiones de Escoria.....	50
2.13.5	Socavamiento .....	51
CAPITULO III.....		52
DIMENSIONAMIENTO DE LA MAQUINA.....		52
3.1	Selección del material .....	52
3.1.1	Materiales a Usados en la construcción .....	54
3.2	Equipos y Herramientas Utilizados en la Construcción del Equipo .....	54
3.3	Etapas en la Construcción del Sistema Mecánico.....	55
3.4	Cálculo de Dimensiones de Elementos para Realizar Dobleces en U de Acuerdo con la Norma ASTM E-190.....	56
3.4.1	Análisis de Carga y Energía para Realizar Dobleses en U .....	56
3.4.1.1	Parámetros Iniciales de Diseño .....	57
3.4.1.2	Dimensiones de elementos para realizar dobleces en u de acuerdo con la norma ASTM E-190.....	58
3.4.1.3	Cálculo de esfuerzo y energía necesaria para realizar el dobleces en U a pletinas con las dimensiones especificadas en la Tabla 5: .....	62
3.4.1.4	Análisis de esfuerzos y dimensionamiento de accesorios para máquina de dobleces en U. 68	
3.5	Proceso de Construcción de Accesorios del Equipo .....	75
3.5.1	Ejes de Apoyo.....	75

3.5.2 Eje roscado.....	75
3.6 Probetas Para Ensayo de Doblez Guiado en U .....	75
3.7 Criterio de Aceptación Para Ensayos de Doblado .....	78
CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de los aceros estructurales</i> .....	21
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades mecánicas del acero ASTM A36</i> .....	31
<b>Tabla 3</b> <i>Composición química del acero ASTM A36</i> .....	31
<b>Tabla 4</b> <i>Comparación entre corriente continua y corriente alterna</i> .....	40
<b>Tabla 5</b> <i>Propiedades de los materiales</i> .....	53
<b>Tabla 6</b> <i>Materiales utilizados en la construcción del sistema mecánico</i> .....	54
<b>Tabla 7</b> <i>Equipos y herramientas usados</i> .....	55
<b>Tabla 8</b> <i>Etapas de construcción</i> .....	55
<b>Tabla 9</b> <i>Dimensiones del embolo y distancia entre apoyos para realizar dobléz en U, en espesores de 1/8", 1/4" y 3/8".</i> .....	56
<b>Tabla 10</b> <i>Parámetros iniciales de diseño</i> .....	57
<b>Tabla 11</b> <i>Dimensiones de émbolo y distancia entre apoyos para realizar dobléz en U a diferentes espesores de probeta, según norma ASTM E-190</i> .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Dispositivo tipo Former (Tipo U)</i> .....	12
<b>Figura 2</b> <i>Dispositivo tipo Roller (Wrap-Around)</i> .....	13
<b>Figura 3</b> <i>Doblez de lado</i> .....	16
<b>Figura 4</b> <i>Dobles de cara y raíz Transversal.</i> .....	17
<b>Figura 5</b> <i>Dobles de cara y raíz Longitudinal.</i> .....	18
<b>Figura 6</b> <i>Ángulo estructural en forma de “L”</i> .....	25
<b>Figura 7</b> <i>Vigas “H”</i> .....	26
<b>Figura 8</b> <i>Vigas en forma de “H”</i> .....	26
<b>Figura 9</b> <i>Perfil en “T”</i> .....	27
<b>Figura 10</b> <i>Barra redonda lisa y pulida</i> .....	28
<b>Figura 11</b> <i>Pletina</i> .....	28
<b>Figura 12</b> <i>Barra cuadrada</i> .....	29
<b>Figura 13</b> <i>Barra hexagonal</i> .....	30
<b>Figura 14</b> <i>Chapas</i> .....	30
<b>Figura 15</b> <i>Soldadura por arco con electrodo revestido</i> .....	35
<b>Figura 16</b> <i>Circuito del proceso SMAW.</i> .....	36
<b>Figura 17</b> <i>Tipos de junta</i> .....	41
<b>Figura 18</b> <i>Posiciones de soldadura</i> .....	42
<b>Figura 19</b> <i>Porosidades</i> .....	45
<b>Figura 20</b> <i>Fusión incompleta</i> .....	45
<b>Figura 21</b> <i>Falta de penetración</i> .....	46
<b>Figura 22</b> <i>Inclusión de escoria</i> .....	47
<b>Figura 23</b> <i>Socavamiento</i> .....	47
<b>Figura 24</b> <i>Grieta longitudinal</i> .....	49
<b>Figura 25</b> <i>Mecanismo básico de cómo se realizará el dobléz en U</i> .....	57
<b>Figura 26</b> <i>Estructura del utillaje de ensayo doblado guiado</i> .....	59
<b>Figura 27</b> <i>Longitud de dobléz en U</i> .....	60
<b>Figura 28</b> <i>Condiciones para la transformación</i> .....	61
<b>Figura 29</b> <i>Eje de apoyo</i> .....	69

<b>Figura 30</b> <i>Valor del esfuerzo maximo</i> .....	70
<b>Figura 31</b> <i>Esfuerzos normales provocados por el momento máximo en el eje de rodillo de apoyo.</i> .....	70
<b>Figura 32</b> <i>Diagrama de círculo de Mohr para sección transversal de eje de apoyo.</i> .....	71
<b>Figura 33</b> <i>Punzones de diferentes radios</i> .....	74
<b>Figura 34</b> <i>Probetas para soldar</i> .....	76
<b>Figura 35</b> <i>Probeta soldada</i> .....	78
<b>Figura 36</b> <i>Probeta luego de retirar las secciones de inicio y fin del cordón de soldadura.</i> .....	78

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo diseñar y construir un equipo de doblez guiado en U, con el fin de implementar el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. Para la realización de este trabajo se diseñó y dimensionó el equipo haciendo uso del software CAD SolidWorks, posteriormente se llegaron a preparar las piezas y componentes metálicos haciendo uso de máquinas y herramientas, como el corte por plasma, torno, taladro, amoladora, etc. Luego se ensambló el equipo, uniéndolos por soldadura SMAW para luego realizar las pruebas de doblez para determinar la fiabilidad del equipo. Para las pruebas se tuvo probetas de metal base de distinto tipo de espesor de acero ASTM A-36 y de misma manera probetas soldadas en junta a topes. Cabe mencionar que el equipo se diseñó y dimensiono para trabajar en cualquier tipo de metal o aleación.

*Palabras clave:* Diseño, construcción, ensamblaje, máquina, equipo doblado en U.

## **ABSTRACT**

The objective of this thesis work is to design and build a guided U-bending equipment, in order to implement the welding workshop of the Professional School of Metallurgical Engineering of the National University of San Antonio Abad of Cusco and improve the welding process. teaching-learning of students. To carry out this work, the equipment was designed and sized using SolidWorks CAD software, subsequently the metal parts and components were prepared using machines and tools, such as plasma cutting, lathe, drill, grinder, etc. The equipment was then assembled, joining them by SMAW welding and then bending tests were carried out to determine the reliability of the equipment. For the tests, base metal specimens of different thicknesses of ASTM A-36 steel were used, as well as butt-welded specimens. It is worth mentioning that the equipment was designed and sized to work on any type of metal or alloy.

Keywords: Design, construction, assembly, machine, U-bent equipment

## SIMBOLOGIA

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
EU:	Energía requerida para el doblado en U
f:	Altura de raíz
hU:	Longitud de carrera para la transformación de doblez
K3 y k4:	Constante para el cálculo de fuerza necesaria para realizar doblez
P:	Punzón
P <sub>cmax</sub> :	Presión máxima en esfuerzos de contacto
PP:	Botador
PU:	Fuerza para realizar el doblado en U
P <sub>UD</sub> :	Fuerza de diseño para realizar doblez en U
P <sub>UT</sub> :	Fuerza total para realizar doblado en U
r:	Radio
R:	Abertura de raíz
S <sub>y</sub> :	Esfuerzo de fluencia
r <sub>a</sub> :	Radio de la matriz
r <sub>p</sub> :	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
t <sub>f</sub> :	Tonelada fuerza
W:	Dimensión lineal cordón de soldadura
α:	Ángulo
v:	Relacione de Poisson
e:	Elongación de la superficie exterior de un material al doblarse
σ:	Esfuerzo
σ <sub>1</sub> y σ <sub>2</sub> :	Esfuerzos principales
σ <sub>B</sub> :	Esfuerzo en el material al doblarse
τ <sub>máx</sub> :	Esfuerzo cortante máximo

## INTRODUCCION

La presente tesis, titulada "**Diseño y Construcción de un Equipo de Doblez Guiado en U para el Taller de Soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco**", se enmarca dentro del ámbito académico y práctico necesarios para la formación integral de los futuros ingenieros metalúrgicos. En el contexto actual, donde la industria metalúrgica demanda profesionales altamente capacitados que no solo posean conocimientos teóricos, sino habilidades prácticas adecuadas, surge la necesidad imperiosa de contar con equipamiento especializado en el taller de soldadura. La soldadura es una técnica fundamental en la construcción y manufactura, utilizada ampliamente para unir materiales metálicos. La calidad y durabilidad de estas uniones dependen directamente del proceso de soldadura aplicado y del control de calidad aplicado durante su ejecución. Por ello, es indispensable que los estudiantes tengan acceso a equipos que les permitan realizar el control de calidad de las uniones soldadas como el doblez guiado, el cual evalúa las propiedades mecánicas y la ductilidad de las uniones soldadas. Sin embargo, el taller actual de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC, presenta limitaciones significativas debido a la falta de equipos adecuados para llevar a cabo estos ensayos de control de calidad. Esta carencia impacta negativamente en el proceso formativo, limitando las oportunidades prácticas que permiten a los estudiantes consolidar sus conocimientos teóricos adquiridos durante su formación académica. En este sentido, este trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un equipo que realice ensayos efectivos sobre juntas soldadas mediante técnicas estandarizadas como lo son las normas ASTM E-190 e AWS D1.1. Este desarrollo no solo busca optimizar las condiciones educativas dentro del taller sino facilitar una mejor comprensión por parte de los alumnos sobre aspectos importantes relacionados con la calidad en uniones soldadas. A lo largo del presente

trabajo se presentan la fundamentación metodológica con que ha sido desarrollado el trabajo, luego los fundamentos teóricos que sustentan este proyecto, así como sus alcances e implicancias prácticas; además se detallan las etapas desde el diseño hasta la construcción final del equipo propuesto. De esta manera se espera contribuir significativamente al fortalecimiento educativo e investigativo en nuestra escuela profesional y aportar herramientas necesarias para preparar adecuadamente a nuestros futuros profesionales frente al exigente mundo laboral actual.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento Del Problema

La Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San ANTONIO Abad del Cusco, dentro de su currículo de estudios cuenta con la asignatura de Metalurgia de la soldadura. La escuela profesional cuenta con un taller para la enseñanza de prácticas de soldadura, sin embargo, este taller actualmente tiene un déficit de equipos que involucren al estudiante con la gestión de calidad de uniones por soldadura. La falta de algunos equipos para esta labor produce que no se realice el estudio práctico de la evaluación y control de calidad de juntas soldadas lo que hace que el estudiante egrese solo con conocimientos teóricos, lo que no le permite desarrollarse adecuadamente en la industria. Por eso es muy importante la implementación del taller de soldadura con equipos de laboratorio y bancos de ensayo que permitan a los estudiantes de tener la oportunidad de evaluar las juntas soldadas.

El presente trabajo de tesis, plantea el diseño y construcción de un banco de pruebas para la evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.12015, para ensayos de soldadura, para el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, el cual permitirá al profesional tener conocimientos en gestión de calidad de soldadura cuando incurriere al mercado laboral.

## **1.2 Problema General y Específicos**

### ***1.2.1 Problema General***

¿De qué manera se diseñará y construirá el equipo de doblez guiado en U para evaluación de juntas soldadas, destinado al taller de soldadura de la carrera profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco?

### ***1.2.2 Problemas Específicos***

- ¿Cuál será el proceso de diseño más adecuado para elaborar un equipo de doblez guiado para el taller de soldadura de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco?
- ¿Cuál será el proceso de construcción más conveniente para elaborar el equipo de doblez guiado para el taller de soldadura de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco?
- ¿De qué tipo de material será construido el equipo de doblez guiado para el taller de soldadura de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco?

## **1.3 Justificación**

La implementación del taller de soldadura con un equipo de doblez guiado permitirá realizar prácticas que beneficiará en el proceso de enseñanza - aprendizaje a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional De San Antonio Abad del Cusco, así también se implementará el taller de soldadura.

El proyecto de tesis se justifica por ser importante, permitiendo al estudiante relacionarse con los estándares de calidad exigidos por las normas internacionales AWS, API, ASME, etc. Con el equipo se podrá evaluar y analizar la calidad de la soldadura, lo que nos permitirá seleccionar correctamente los parámetros de las variables de soldadura, aportando una mejora en la calidad de uniones soldadas. De igual forma se proporcionará a los docentes de la especialidad una herramienta de fácil manejo e interpretación de los resultados del examen.

## **1.4 Objetivo general y Específicos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

Diseñar y construir de un equipo de doblez guiado para la evaluación de juntas soldadas en juntas a tope para el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Determinar el diseño más adecuado para garantizar que el equipo de doblez guiado cumpla con los requerimientos técnicos y funcionales del taller de soldadura.
- Seleccionar y aplicar el proceso de construcción más conveniente para garantizar la durabilidad, precisión y seguridad del equipo de doblez guiado.
- Investigar y seleccionar el material más apropiado para la construcción del equipo, considerando factores como resistencia mecánica, disponibilidad y costo.

## **1.5 Alcances y Limitaciones del Proyecto**

### ***1.5.1 Alcance***

Este trabajo de tesis permitirá solucionar al problema planteado en referencia a los ensayos de doblez guiado, diseñando y construyendo una máquina que permita realizar pruebas de doblez a probetas unidas por soldadura. En el mercado existe una gran variedad de modelos de esta máquina, con el presente trabajo de tesis se pretende ejecutar un equipo de lo más sencillo pero que cumpla los estándares exigidos como normas ASTM, ASME API, AWS, etc. En el diseño se ejecutará cálculos de fuerzas y potencia necesarias para su funcionamiento con la utilización del software Solidworks y Ansys. Posterior al diseño se ejecutarán los planos para su construcción y puesta en funcionamiento en el taller de la escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

### ***1.5.2 Limitaciones***

En el ámbito del diseño, existe una amplia variedad de software especializado; sin embargo, muchos de los más avanzados requieren licencias profesionales, las cuales implican costos elevados. La universidad no dispone de este tipo de software, ya que cuenta únicamente con licencias académicas, lo que genera ciertas restricciones para el desarrollo del presente proyecto. Por esta razón, se optó por utilizar software gratuito disponible en internet. Aunque estas herramientas son útiles, presentan limitaciones, ya que no ofrecen todas las funcionalidades necesarias para cubrir de manera óptima los requerimientos del proyecto.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 Antecedentes de investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

a) Penagos (2015) en su trabajo de tesis intitulado Diseño y Construcción de Máquina de Doblez Guiado para la Compañía West Arco, realizado en el año 2015 en la ciudad de Bogota, cuyo objetivo es diseñar un equipo para realizar pruebas de doblez en probetas soldadas de acuerdo a las normas ASME sección IX Boiler and Pressure Vessel 2010 Adenda 2011 y la norma AWS B4.0:2007 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. El desarrollo del equipo de pruebas se realizó mediante el diseño conceptual y apoyo de software CAD/CAM/CAE, teniendo como base los lineamientos exigidos por códigos de soldadura y especificaciones aplicables en cuanto a dimensionamiento y geometría, desarrollando posteriormente la construcción del equipo de doblez concluyéndose con el correcto funcionamiento del mismo y su conformidad con las exigencias de norma aplicable.

b) López (2017), realizo una investigación para la construcción de un equipo de doblez para evaluar la ductilidad de las uniones soldadas a acuerdo a las normas ASTM E-190-92 y AWS B4.0. Se presenta los cálculos para el diseño y construcción de los accesorios del equipo para ensamblar a un dispositivo hidráulico, también se fabricaron probetas para realizar las pruebas de doblez respetando las dimensiones y los estándares que la norma ASTM E-190 describe. Finalmente, se presentan los resultados de la evaluación de soldadura al realizar el ensayo de doblez en U recomendados por la AWS.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Alexander (2021), en su trabajo de tesis, tiene como objetivo diseñar una dobladora para incrementar la producción de estribos en la Compañía Constructora Ccanampalla S.A.C. La investigación es de tipo tecnológica, nivel aplicado y tiene un diseño de aplicación, se usó la metodología de diseño VDI 2221, los instrumentos utilizados para la investigación fueron la observación y entrevista. Con el trabajo de investigación se llegó a la conclusión que se puede incrementar la producción de estribos de 50 a 109 por hora, incrementando así la producción de contrafuertes, así mismo, se logró disminuir el tiempo de doblado de los estribos de 36 horas a 16 horas.

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Diseño**

Richard G. Budynas (2008) define que Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. También indica que el diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones.

Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir

un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar, sin importar quién lo construya o lo use.

### **2.2.2 Importancia del Diseño**

El diseño mecánico es fundamental para el avance tecnológico, permitiendo el desarrollo de componentes y sistemas como máquinas, vehículos y estructuras. Gracias a la ingeniería, es posible predecir y controlar el comportamiento de estas estructuras, asegurando que cumplan con las necesidades requeridas. El proceso de diseño debe estar bien planificado, considerando factores como materiales, geometría, manufactura y costos. Aunque no existe una única solución óptima, el diseño de ingeniería abarca desde la identificación de necesidades hasta la construcción. Las empresas invierten en diseño para mantenerse competitivas, reduciendo costos y acelerando el lanzamiento de nuevos productos. (Vanegas Useche, 2018)

#### **2.2.2.1 Definición de diseño.**

El diseño se ocupa de la creación de algo (un dispositivo, producto o sistema), el cual puede ser completamente nuevo o consistir de un componente modificado. De acuerdo con esto, se puede hablar de tres tipos de diseño. (Vanegas Useche, 2018)

- (a) Original: que consiste en la elaboración de algo por medio de un principio original.
- (b) Adaptativo: que implica la aplicación de un sistema conocido a una nueva área, pero el principio de solución sigue siendo el mismo.
- (c) De variante: que consiste en hacer variaciones de ciertos aspectos de un sistema, pero la función y el principio de solución siguen siendo los mismos.

### **2.2.2.2 Herramientas y recursos de diseño.**

Actualmente el ingeniero tiene una gran variedad de herramientas y recursos disponibles que le ayudan a solucionar problemas de diseño. Las computadoras y los paquetes de software proporcionan herramientas de gran capacidad para diseñar, analizar y simular componentes mecánicos. Además de estas herramientas, el ingeniero siempre necesita información técnica, ya sea en forma de desempeño básico en ciencias/ingeniería o las características de componentes especiales. (Vanegas Useche, 2018)

#### **2.2.2.2.1 Herramientas computacionales.**

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático. Las trayectorias de las herramientas pueden generarse a partir de los modelos 3-D y, en algunos casos, las partes pueden crearse directamente desde una base de datos 3-D mediante el uso de un método para la creación rápida de prototipos y manufactura (estereolitografía). Otra ventaja de este tipo de base de datos es que permite cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa. Del mismo modo, pueden obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos, etc. Existe una gran cantidad de software de CAD disponible como Aries, AutoCAD, CadKey, I-Deas, Unigraphics, Solid Works y ProEngineer, Catia V5, Autodesk Inventor, Solid Edge, solo por mencionar algunos. A continuación, se describen los más usuales.

### **a) Catia V5**

Catia V5 es una herramienta de diseño 3D que, no solo permite modelar cualquier producto o pieza en tres dimensiones, sino que es capaz de hacerlo dentro de un contexto simulado para comprobar su comportamiento en situaciones reales.

Con Catia V5 se puede abordar el diseño de piezas con formas geométricas complejas, utilizar superficies avanzadas, y es habitualmente utilizado en grandes empresas de sectores como la automoción y la aeronáutica, entre otros.

### **b) Solidworks**

Solidworks es una aplicación de diseño asistido por ordenador que permite modelar piezas, ensamblajes 3D y realizar planos en dos dimensiones. Solidworks ofrece soluciones para cada una de las fases de diseño y su sencillez es una de sus características más importantes.

Esta herramienta es utilizada por pymes y empresas industriales en general, ya que tiene un coste inferior a otras soluciones más avanzadas (como es el caso de Catia V5)

### **c) Siemens NX**

Esta herramienta de diseño 3D fue creada por General Motors y adquirida por Siemens, pasando a denominarse Siemens NX. Es una solución para el desarrollo digital que permite integrar datos y optimizar el proceso de diseño 3D, facilitando el proceso desde el concepto, pasando por el desarrollo, hasta la fabricación del producto.

### **d) Autodesk Inventor**

El Inventor de Autodesk es una herramienta con la cual los ingenieros y diseñadores pueden plasmar sus ideas, crear modelos 3D y documentarlos para una correcta aplicación en la vida real.

Cuenta con virtualización para poder comprobar el funcionamiento, analizar su resistencia y validar el producto antes de pasarlo a producción.

#### **e) Solid Edge**

Solid Edge es una solución de modelado 3D que permite abordar problemas de diseño mecánico. Está destinado a profesionales que permiten ahorrar tiempo en el proceso de fabricación de piezas finales y prototipos. Con Solid Edge se puede trabajar en diseños de manera tradicional u optar por la tecnología síncrona, donde el propio programa decide los parámetros a modificar.

### **2.3 Ensayo de Doblado Guiado**

#### **2.3.1 Principios del Ensayo de Doble Guiado**

El ensayo de doblez guiado tiene dos finalidades principales. En primer lugar, determinar la ductilidad de la unión soldada y en segundo lugar determinar la presencia de defectos en la superficie de tensión. El ensayo de doblez guiado es ampliamente usado en la industria para determinar la ductilidad de una unión soldada y verificar la presencia de discontinuidades o defectos en el depósito de soldadura para la cara expuesta del testigo de ensayo.

Los ensayos de doblez guiado pueden ser realizados a metal base (entendiéndose por este el metal sin cordón de soldadura) o a uniones soldadas (éstas últimas referidas a las uniones entre una o más piezas generalmente metálicas mediante procesos de soldadura con o sin fusión de metal). Su uso se extiende, pero no se limita, principalmente a:

- a. Calificación de materiales, personal de soldadura y procedimientos de soldadura
- b. Información, aceptación de especificaciones (de producto o proceso, nota del autor), control de calidad en manufactura.

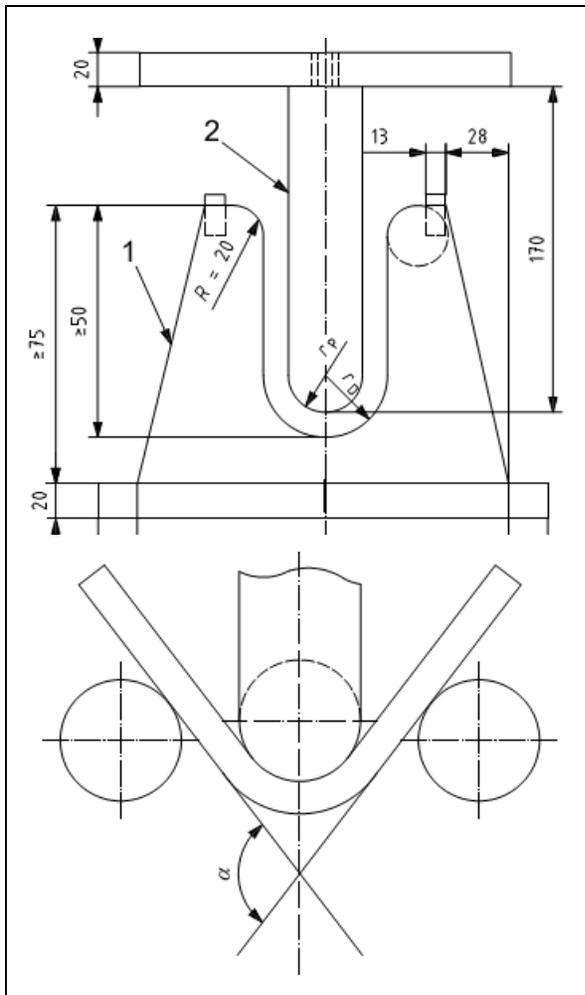
c. Investigación y desarrollo.

### ***2.3.2 Dispositivos Para la Realización del Ensayo de Doble***

Para la realización de un ensayo de doblez, se cuenta principalmente con dos opciones de dispositivo clasificados así:

#### **2.3.2.1 Dispositivo tipo Former (Tipo U).**

En este tipo de JIG el espécimen de prueba se ubica entre dos soportes consistentes en dos rodillos paralelos o en una matriz con forma de U, con el eje axial de la soldadura ubicado exactamente en la mitad del espacio libre entre los rodillos o del espacio de la matriz en U tal como se muestra en la figura 1. El ensayo se realiza ejerciendo presión con un tercer rodillo o matriz en el centro de la probeta, de manera que la superficie de la soldadura a inspeccionar esté en el lado convexo una vez ensayada la probeta.

**Figura 1***Dispositivo tipo Former (Tipo U)*

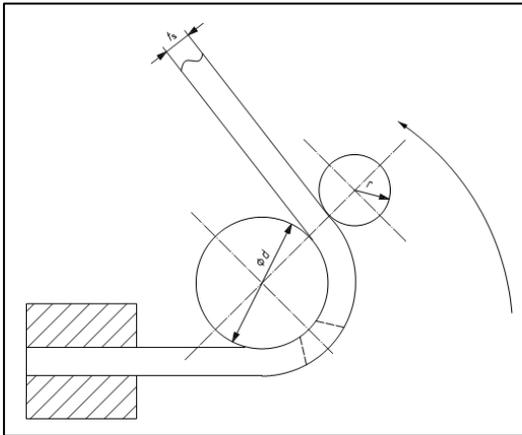
Fuente: EN ISO 5173:2010. Destructive Tests on Welds in metallic Materials-Bend Tests

### 2.3.2.2 Dispositivo tipo Roller (Wrap Around – Envolverte).

Este dispositivo consta de una prensa que sujeta un extremo del material a ensayar, un rodillo de formado con el diámetro requerido para efectuar el dobléz según las cualidades mecánicas del material y la soldadura, y un rodillo de presión que ejercerá la fuerza necesaria para deformar plásticamente la probeta sobre la matriz. Sobre el centro de la probeta doblada debe de ubicarse la zona soldada para efectuar una cualificación correcta. La figura 2, es un esquema de lo explicado anteriormente.

**Figura 2**

*Dispositivo tipo Roller (Wrap-Around).*



Fuente: EN ISO 5173:2010. Destructive Tests on Welds in metallic Materials-Bend

### **2.3.2.3 Ventajas y desventajas de los dispositivos tipo Former y Wrap Around.**

1. La norma ISO recomienda el dispositivo tipo Roller para ensayos de materiales soldados con diferentes propiedades, como el esfuerzo de fluencia o elongación, incluso si son de la misma naturaleza, como el AISI 4140 y el ASTM A36. Es preferido para soldaduras de materiales con distinta resistencia mecánica, como ductilidad y tracción, y es adecuado para hacer dobleces en aluminio.
2. Por otro lado, en los dispositivos tipo Former, existe el riesgo de que la probeta se deslice durante el ensayo, lo que puede desalinearse la probeta con respecto al eje axial de la soldadura y el punzón, afectando la precisión del ensayo.
3. El montaje y operación del dispositivo tipo Roller es más sencillo que el del sistema Former, ya que el Roller solo requiere un dispositivo, mientras que el Former necesita dos. Además, en el Former es necesario verificar la alineación del punzón con la matriz en U o con el espacio entre los rodillos.

4. Los materiales con diferentes niveles de ductilidad, elongación o resistencia a la tracción, como aquellos con menos del 10% de elongación o con diferentes propiedades unidos por soldadura, se pueden ensayar preferentemente en el dispositivo tipo Roller. Esto se debe a que el Roller minimiza el deslizamiento y la posible rotura de la probeta en comparación con el Former, aplicando un esfuerzo menos agresivo, lo que amplía su capacidad de uso.
5. El costo de fabricación del dispositivo tipo Roller es menor que el del Former, ya que no requiere máquinas adicionales. Los dispositivos Former actuales necesitan una máquina universal de ensayos o una prensa hidráulica, lo que limita su accesibilidad.
6. Los accesorios del dispositivo Roller son menos complejos y más económicos que los del Former. El Roller solo requiere cambiar dos rodillos según el diámetro y el espaciamiento, mientras que el Former necesita cambiar tres rodillos (apoyos y conformador), ajustar el espaciamiento, la alineación, la fuerza y el control de la probeta.
7. El dispositivo Former tiene una ventaja en que el control del punto final del ensayo es más fácil de gestionar que en el dispositivo Roller. En el Former, es sencillo identificar el punto final de la carrera en la matriz, mientras que el Roller, al operar mediante un movimiento rotacional, requiere un mayor control del accionamiento para detener el ensayo o controlar el desplazamiento. Por lo tanto, el diseño del Roller necesitará más pruebas de ajuste en comparación con el Former.
8. La formación del operador para el dispositivo Roller requiere menos tiempo e inversión que para el Former, ya que el Roller permite automatizar o preconfigurar más parámetros, como la posición de la probeta durante el ensayo, lo que facilita obtener la curva deseada.
9. Según la experiencia práctica, los daños accidentales o incidentales son más comunes y graves en los dispositivos Former que en los Roller. Por ejemplo, si la carga permanece

accidentalmente aplicada en la máquina universal de ensayos, puede producirse un choque entre la matriz y el conformador, provocando roturas o deformaciones. El Roller minimiza este riesgo, ya que sus componentes tienen menos posibilidades de contacto directo, y en caso de hacerlo, el esfuerzo es menor, ya que los rodillos deslizan en lugar de presionarse entre sí, como ocurre en el Former.

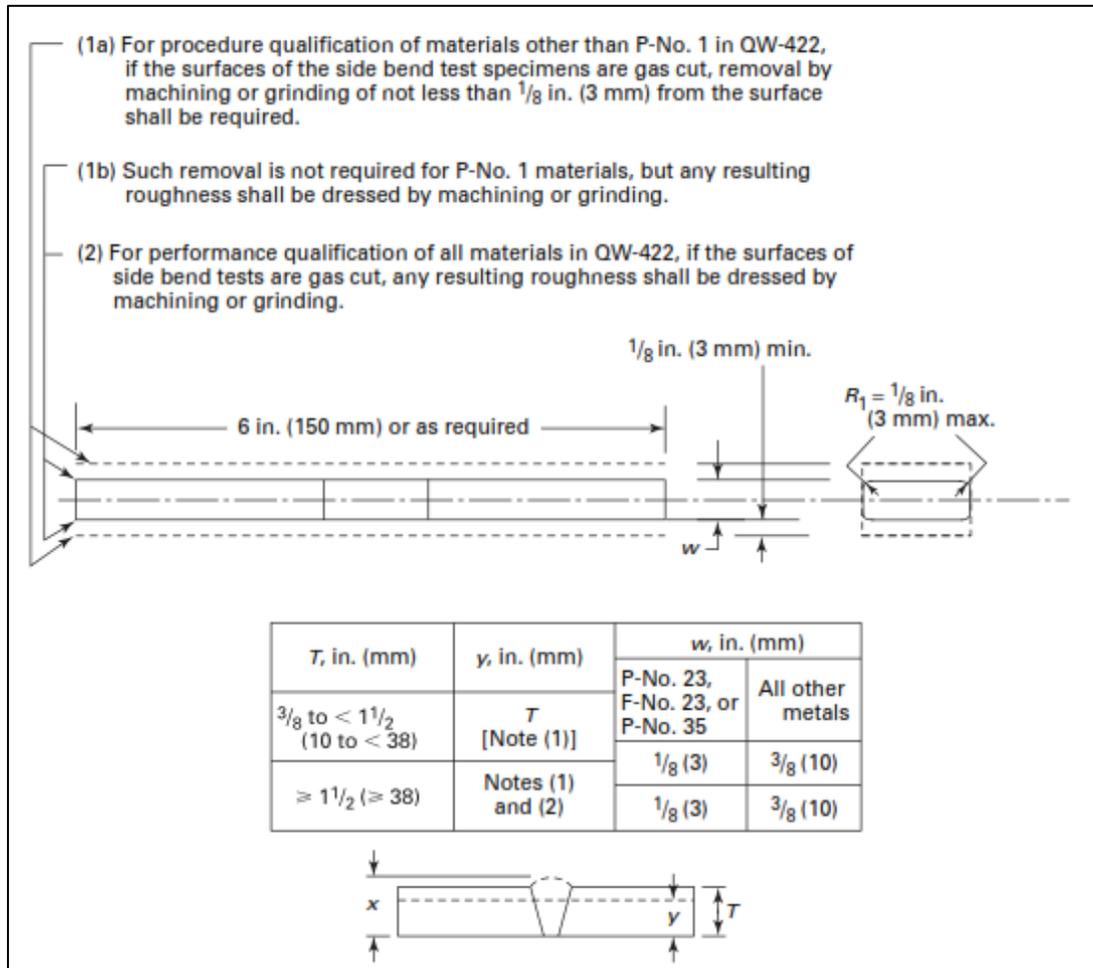
## **2.4 Prueba de Doblez**

Los cupones de prueba son preparados para el ensayo de doblez guiado mediante el corte de la placa formando una sección recta rectangular. Las superficies de corte designan los lados del cupón y las otras dos superficies serán llamadas las superficies de cara y de raíz, la superficie de cara teniendo el mayor ancho de soldadura.

QW-466.2 y QW-466.3: Presenta los tipos de doblez guiado, los cuales dependen del eje de la soldadura, cuando este es transversal o paralelo al eje longitudinal del cupón, y de cual superficie (lado, cara o raíz) es el lado convexo del cupón para el doblez.

### **a. Doble de Lado.**

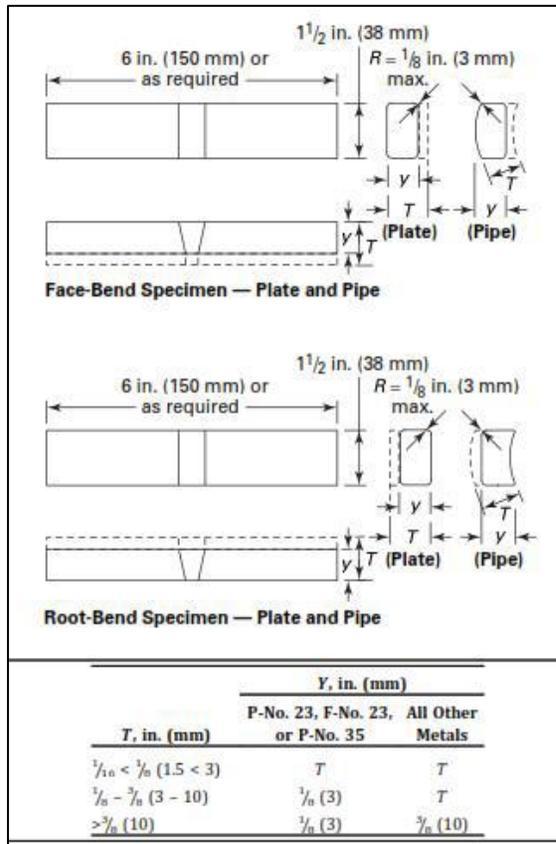
La soldadura es transversal al eje longitudinal del cupón, el cual se dobla de modo que una de las superficies laterales se vuelve la superficie convexa del espécimen de doblez. Los especímenes de prueba transversal de doblez lateral conformarán con las dimensiones mostradas en la figura 3.

**Figura 3***Dobleces de lado*

Fuente: EN ISO 5173:2010. Destructive Tests on Welds in metallic Materials-Bend

**b. Dobleces de Raíz**

La soldadura es transversal al eje longitudinal del cupón, el cual es doblado de modo que la superficie de raíz se vuelve la superficie convexa de la probeta doblada. Las dimensiones de los cupones de prueba de doblez transversal de raíz están representadas en la figura 4.

**Figura 4***Dobles de cara y raíz Transversal.*

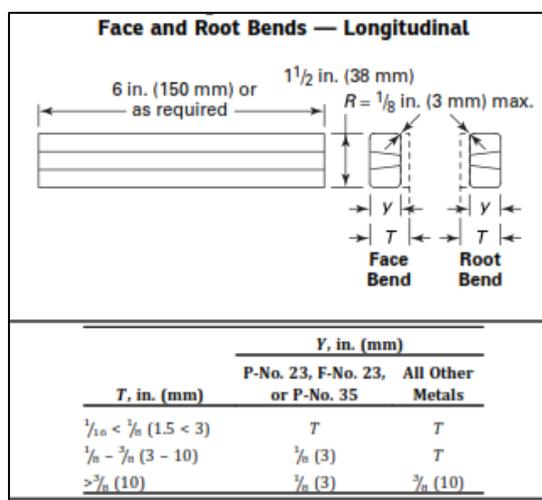
Fuente: EN ISO 5173:2010. Destructive Tests on Welds in metallic Materials-Bend

**c. Doble de Cara**

La soldadura es paralela al eje longitudinal del cupón, el cual es doblado de modo que la superficie de la cara se vuelve la superficie convexa de la probeta doblada. Las dimensiones de los cupones de prueba de doblez transversal de raíz están representadas en la figura 5.

**Figura 5**

*Dobles de cara y raíz Longitudinal.*



Fuente: EN ISO 5173:2010. Destructive Tests on Welds in metallic Materials-Bend

Los cupones de prueba de doblez no deberán tener defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 1/8 pulgada, medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del cupón doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas de la probeta durante la prueba no se tendrán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

## 2.5 Aceros

Existe gran variedad en la clasificación de los aceros, para los que son utilizados en la industria metal mecánica existe una designación normalizada por medio de cifras, letras y signos, hay 2 tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra numérica. La designación simbólica ayuda a conocer las características químicas, físicas o tecnológicas de los materiales y entre otros casos sus características suplementarias que permitan una identificación más precisa, en cambio la designación numérica permite expresar una clase alfanumérica para tener un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos, al igual manera esto es para

facilitar su identificación, esta designación no tiene un sentido de presentación de las características del material.

### **2.5.1 Clasificación de los Aceros**

#### **a. Por composición química**

Los aceros al carbono o llamados también aceros no aleados, son aceros que aparte del carbono, tienen otros materiales aleantes en mínimas cantidades como el manganeso, cromo, níquel, vanadio o titanio.

Los aceros al carbono se subdividen por su porcentaje de carbono:

- Aceros de bajo carbono ( $0 < 0.25\%C$ )
- Aceros de medio carbono ( $0.25\%C < 0.55\%C$ )
- Aceros de alto carbono ( $2\%C > 0.55\%C$ )

#### **b. Aceros Aleados**

Son aquellos que además del carbono, uno de sus otros elementos presentes en la aleación es igual o superior que los presentaba en los aceros al carbono, estos se pueden dividir en:

- Aceros de baja aleación (tienen elementos aleantes  $< 5\%$ )
- Aceros de alta aleación (tienen elementos aleantes  $> 5\%$ )

#### **c. Aceros Inoxidables**

Son aquellos aceros que contienen una cantidad mínima de 10.5% de cromo y un máximo del 1.2% de Carbono, estos se dividen en:

- Aceros inoxidables martensíticos
- Aceros inoxidables ferríticos

- Aceros inoxidables austeníticos
- Aceros inoxidables dúplex.

### 2.5.2 *Acero Estructural*

Se denominan aceros estructurales a un grupo de aceros diseñados especialmente para la construcción de todo tipo de estructura, ya sea para edificios, componentes mecánicos que se usan en las industrias en general.

#### 2.5.2.1 **Ventajas y Desventajas.**

Ventajas:

- *Posee gran firmeza.* - La firmeza del acero por cada unidad de peso significa que el peso de la estructura se encontrará al mínimo necesario, esto es un factor de vital importancia en puentes con amplios claros ya que se consigue una gran eficacia estructural.
- *Inalterable.* - Las propiedades del acero prácticamente no cambian con el tiempo.
- *Durabilidad.* - Con un mantenimiento adecuado las estructuras de acero pueden durar por tiempo indefinido.
- *Ductilidad.* - La ductilidad es la propiedad de soportar grandes deformaciones sin fallar al estar sometido a altos esfuerzos de tensión.
- *Tenacidad.* - La tenacidad del acero es elevada, por tanto, poseen buena resistencia y ductilidad.

Desventajas:

- *Coste de mantenimiento:* La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión si están expuestos continuamente al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

- *Costo de la protección contra el fuego:* Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios.

Pese a estas desventajas que presenta el acero, es el material preferido a la hora de realizar cualquier tipo de estructura, desde un edificio de viviendas hasta un puente.

En la tabla 1, se muestra la clasificación y algunas características de los aceros estructurales.

**Tabla 1**

*Clasificación de los aceros estructurales*

Designación de la ASTM	Tipo de Acero	Formas	Usos Recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia Fy, en ksi	Resistencia mínima especificada a la tensión Fu, en ksi
A36	Al carbono	Perfiles, barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas soldadas	36, pero 32 si su espesor es mayor de 8 pulg	58-80
A529	Al carbono	Perfiles y placas hasta ½ pulg	Similar al A36	42-50	60-100
A572	Columbio-vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg.	Construcciones soldada o atornillada, No para puentes soldados con Fy grado 55 o menor.	42-65	60-80
A242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión.	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg.	Construcciones atornilladas, soldadas o remachadas; técnica de soldado muy importante.	42-50	63-70
A588	De alta resistencia baja aleación y resistente a	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción atornillada	42-50	63-70

	la corrosión atmosférica					
A852	Aleación templada y revenida	y	Placas solo de 2.5 a 6 Pulg.	Construcción soldada o atornillada, principalmente para puentes y edificios soldados. Proceso de soldadura de importancia fundamental.	70	90-110
A514	Baja aleación templada y revenida	y	Placas solo de 2.5 a 6 Pulg.	Estructura soldada con gran atención a la técnica; no se recomienda si la ductilidad es importante.	90-100	100-130

Fuente: Film & Trojan (1979)

## 2.6 Selección de Material

La selección de materiales requiere considerar muchos factores. Por lo general deben evaluarse la resistencia a la rigidez, ductilidad, peso, resistencia a la corrosión, capacidad de maquinado, facilidad para trabajarse, soldabilidad, aspecto, costo y disponibilidad. En lo que se refiere a resistencia de materiales los factores más importantes son resistencia, rigidez y ductilidad, por reunir estas consideraciones se optado por utilizar el acero.

### 2.6.1 Propiedades Principales que Debe Reunir el Acero

#### a. Resistencia

Los datos de referencia que listan las propiedades mecánicas de los metales casi siempre incluirán la resistencia última a la tensión y la resistencia a la cedencia del metal. La comparación entre los esfuerzos reales en una pieza, con la resistencia última a la tensión o la resistencia a la cedencia del material del que está hecha la pieza, es el método usual para evaluar lo apropiado que puede ser un material para soportar con seguridad las cargas aplicadas

## **b. Rigidez**

Con frecuencia es necesario determinar cuánto se deformará una pieza bajo una carga, para asegurar que la deformación excesiva no destruya su utilidad. Esto puede ocurrir a esfuerzos muy inferiores a la resistencia a la cedencia del material, en especial en miembros muy largos o en dispositivos de alta precisión. La rigidez del material es una función de su módulo de elasticidad, al que a veces se le conoce como módulo de Young.

## **c. Ductilidad**

Cuando los metales se rompen, su fractura puede clasificarse como dúctil o frágil. Un material dúctil se estira y cede antes de fracturarse, por lo que se origina una notoria disminución en el área de la sección transversal, en la sección fracturada. Por otra parte, un material frágil se fracturará de repente con poco o ningún cambio en el área de la sección fracturada.

Esperamos hacer la mejor selección del material basándonos en sus propiedades físicas y químicas, las cuales confrontaremos con las necesidades de la pieza

## **2.7 Selección del Tipo de Acero para la Construcción del Equipo**

Por las consideraciones descritas en el ítem anterior se ha seleccionado el acero estructural ASTM A36 para la construcción del equipo.

### **2.7.1 Acero ASTM A36**

El grupo de aceros ASTM A36, son parte de los denominados aceros estructurales. Son utilizados en la industria de la construcción y manufactura de estructuras sometidas a esfuerzos. Presentan buena soldabilidad, buena resistencia mecánica, trabajabilidad, disponibilidad y mucho más aún tienen relativo bajo costos, factores que le otorgan propiedades adecuadas y propicias

para su aplicación para la fabricación de estructuras de trascendental importancia para la industria y el desarrollo social, tales como puentes, maquinaria, transporte automotriz, transporte ferroviario, naval, aeronáutica, torres para transmisión de energía eléctrica, etc.

#### **2.7.1.1 Aplicaciones del acero ASTM A36.**

Este acero tiene gran variedad de aplicación en distintas industrias. Algunas aplicaciones son las siguientes:

- Estructura para edificios.
- Estructuras para instalaciones industriales y deportivas.
- Cables para puentes (colgantes, atornilladas, remachados y soldados).
- Estructuras para plataformas petroleras.
- Estructuras de tanques, carcasas, moldes, matrices.
- Láminas plegadas para techos.
- Mallas electro soldadas.
- Etc.

#### **2.7.1.2 Formas de presentación del acero estructural ASTM A36**

El acero ASTM A36 se produce en amplia gama de formas e incluyen:

- Planchas
- Perfiles estructurales con diferentes secciones.
- Tubos
- Barras
- Láminas

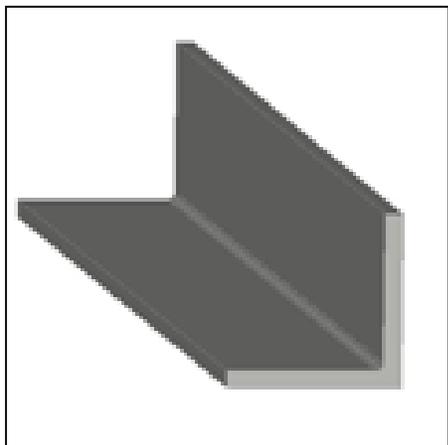
Tienen las siguientes presentaciones:

- **Ángulos en forma de “L”**

Los ángulos estructurales en “L” son productos laminados en caliente. Su presentación transversal forma dos alas con ángulo recto. Se emplean para la fabricación de estructuras para edificaciones, automotriz, grúas, puertas, rejacería, señaléticas, soportes, techados, torres de transmisión, ventanas, entre otros. En la figura 6, se observa este tipo de presentación.

**Figura 6**

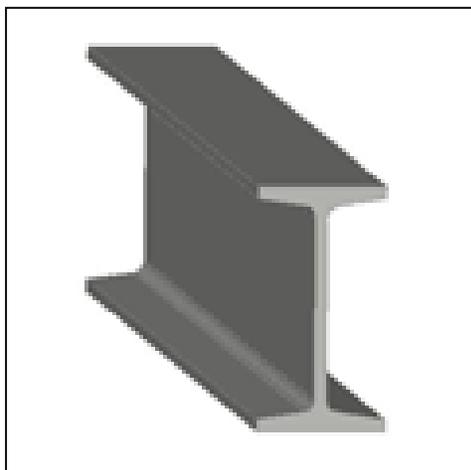
*Ángulo estructural en forma de “L”*



Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos.

- **Vigas en forma de “H”**

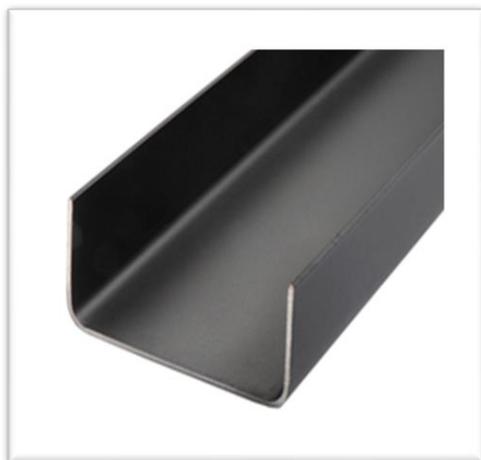
Las vigas son productos de sección transversal en H, obtenidos por laminación en caliente, soportan altas cargas principalmente por su gran resistencia a la flexión. Estos perfiles son de gran uso en las edificaciones. También tienen amplia aplicación en las estructuras para el sector industrial. Este producto se observa en la figura 7.

**Figura 7***Vigas “H”*

Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos.

- **Canales U**

Elaborado por laminación en caliente. La sección transversal presenta la forma de la letra “U”. Los principales usos incluyen la fabricación de estructuras de vigas, viguetas, carrocerías, cerchas, canales, etc. Este producto se muestra en la figura 8.

**Figura 8***Canales en U*

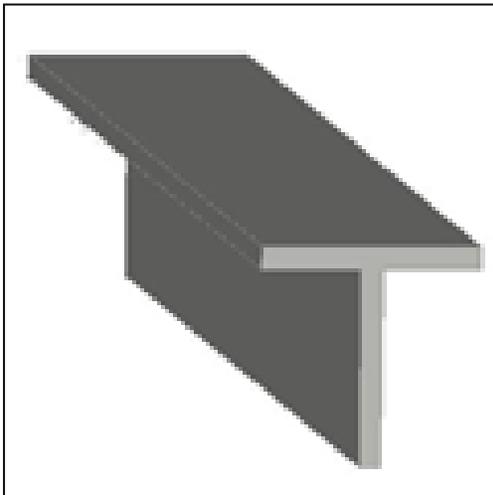
Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Perfiles en forma de “T”**

Productos obtenidos por laminado en caliente. La sección transversal forma dos alas en ángulo recto. Son muy adecuados y de amplio uso en el rubro de la carpintería metálica y fabricación de estructuras para almacenes, bastidores, carrocerías, cordones, grúas, molinos, puertas, rejas, silos, techados, torres para transmisión de energía de alta tensión, tijerales, ventanas, entre otros. Este producto se muestra en la figura 9.

**Figura 9**

*Perfil en “T”*



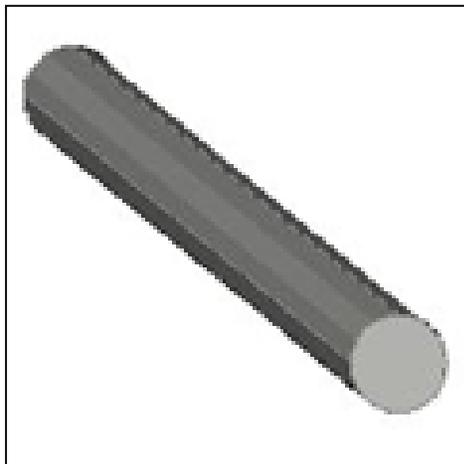
Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Barras redondas lisas y pulidas**

Producto laminado en caliente, de sección circular y superficie lisa y pulida. Su uso incluye estructuras metálicas para puertas, ventanas, rejas, cercos, elementos de máquinas, ejes, pernos y tuercas recalcado en caliente o mecanizado; y también jeeps, pines, pasadores, etc. Este producto se muestra en la figura 10.

**Figura 10**

*Barra redonda lisa y pulida*



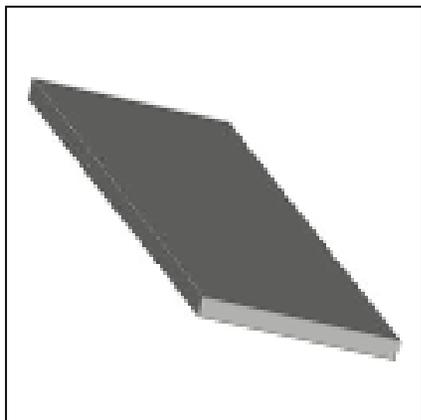
Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Pletinas**

Producto obtenido por laminación en caliente, de sección transversal rectangular. Entre sus usos principales es para la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc. Este producto se observa en la figura 11.

**Figura 11**

*Pletina*



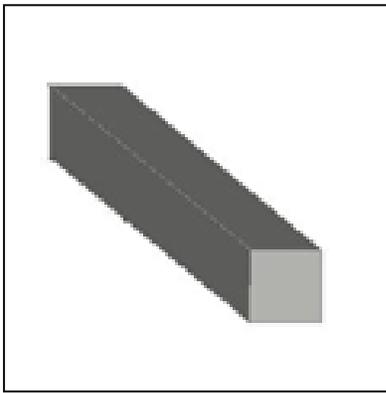
Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Barras cuadradas**

Producto obtenido en caliente por laminación y tiene bastante aplicación en la fabricación de estructuras metálicas para puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas, etc. Este producto se muestra en la figura 12.

**Figura 12**

*Barra cuadrada*



Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Barras hexagonales**

Son obtenidas por laminación en caliente. Tienen amplio uso en la fabricación de elementos de ensamble como pernos, tuercas, ejes, herramientas menores (cincales, barretas, etc.). Los elementos de ensamble fabricados a partir de barras hexagonales pueden ser sometidos a tratamiento térmico de revenido y temple.

Este producto se muestra en la figura 13.

**Figura 13***Barra hexagonal*

Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

- **Perfiles obtenidos por soldadura o unión de sus elementos**

Son estructuras que son ensamblados y tienen la forma rectangular. Elementos ensamblados de estructuras, generalmente, de forma rectangular. Estos perfiles se adecuan a los requerimientos de diseño de acuerdo al análisis estructural calculado.

- **Chapa**

Son obtenidos por laminación en caliente con diferentes espesores. Son usados en calderería, carrocerías de vehículos automotrices, etc. Este producto se observa en la figura 14.

**Figura 14***Chapas*

Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

### 2.7.1.3 Propiedades mecánicas y composición química

En la Tabla 2, se muestra las propiedades mecánicas y en la Tabla 3 la composición química.

**Tabla 2**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A36*

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Max	Min	Max
250	36000	58000	80000	400	550

Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

**Tabla 3**

*Composición química del acero ASTM A36*

Carbono (C)	0,26% máx.
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx.
Azufre (S)	0,05% máx.
Silicio (Si)	0,40% máx.
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

Fuente: Aceros Arequipa (2020). Catálogo de productos

## 2.8 Conceptos Básicos de Soldadura

### 2.8.1 Definición de Soldadura

La soldadura es el proceso por el cual dos o más piezas de metal se unen en forma permanente por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, llamado metal de aportación.

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la

aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

Para poder realizar una soldadura debemos conocer la capacidad de soldabilidad de los materiales que van a ser unidos, por lo que este tema lo explicaremos a continuación.

### **2.8.1.1 Soldabilidad.**

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza, para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura hasta constituir una sola unidad. Esta unión puede hacerse siempre y cuando las superficies a soldar estén perfectamente limpias. El aluminio es difícil de soldar debido al constante recubrimiento de óxido, por lo que se habla de mala soldabilidad. En cambio, el hierro, puede ser unido fácilmente, pues tiene excelente soldabilidad.

Dependiendo del material que se a va unir existe varios tipos de soldabilidad que se anotan a continuación.

#### ***2.8.1.1.1 Tipos de soldabilidad.***

La definición de soldabilidad incorpora algunos puntos de vista diferentes por lo que para su mejor comprensión de esta propiedad se la divide en tres aspectos principales:

#### **a. Soldabilidad operativa**

Hace referencia a todas las condiciones tecnológicas de ejecución de uniones soldadas por cualquier proceso de soldadura ya sea por fusión o presión.

Existen condiciones que determinan esta soldabilidad, tales como:

1. Tipo de material

2. Tamaño, espesor y forma de las partes soldadas
3. Posición de las juntas
4. Niveles de corrientes
5. Tipo de polaridad
6. Voltaje
7. Velocidad de la soldadura
8. Tipo de protección del arco y de la unión soldada

La mala soldabilidad operativa se podría producir si el metal u oxido tiene altas temperaturas de fusión.

#### **b. Soldabilidad metalúrgica**

Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de forma permanente mediante los procesos de soldadura sin presentar transformaciones micro estructurales o variación en las propiedades mecánicas y químicas.

No se debe producir el temple del metal base ni del de aporte, en aceros de bajo carbono, aunque esta posibilidad es mínima, pero en aceros aleados hay mayor posibilidad de que se generen estructuras martensíticas que tornan frágil al material.

#### **c. Soldabilidad constructiva**

Se liga al proyecto de construcción, a las propiedades físicas del material como son la dilatación y contracción que originan fisuramientos en la unión soldada.

Depende también de factores externos como son: la temperatura y humedad ambiental, estos dos aspectos son mucho más evidentes en países de cuatro estaciones severas, en nuestro medio se puede encontrar ambientes húmedos.

También se define como una combinación de propiedades las cuales controlan la facilidad de unir un metal por soldadura bajo una serie de condiciones impuestas para formar una unión, siendo estas propiedades adecuadas para el propósito deseado.

## ***2.8.2 Proceso de soldadura por Arco con Electrodo Revestido - SMAW***

### **2.8.2.1 Definición y descripción general.**

La soldadura manual es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

La soldadura manual es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte de que el equipo necesario para su ejecución es más sencillo, transportable y barato que el de los demás.

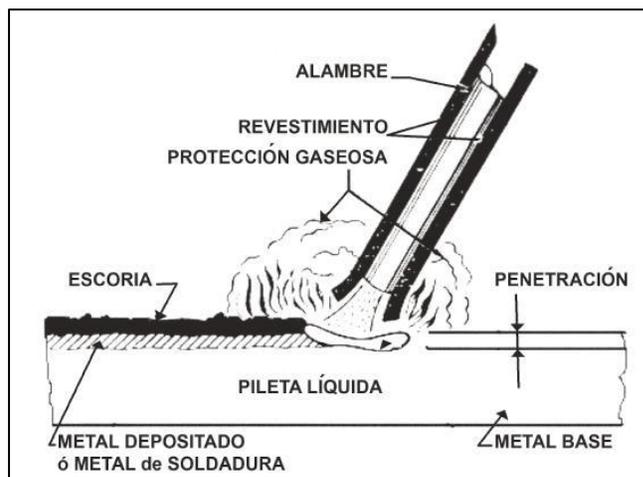
Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, tanto en locales cerrados como en el exterior, se puede aplicar en cualquier localización que pueda ser alcanzada por un electrodo, incluso con restricciones de espacio, que no permiten la utilización de otros equipos; por otra parte, al no requerir ni tuberías de gases ni conducciones de agua de refrigeración, puede ser empleada en lugares relativamente alejados de la unidad generadora.

Por otra parte, la soldadura manual es aplicable a casi todos los tipos de aceros: al carbono, débilmente aleados, inoxidable, resistentes al calor, etc., y a gran número de aleaciones, como las

cobre – cinc (latones) y cobre – estaño (bronces) principalmente. Asimismo, la soldadura manual se puede utilizar en todos los tipos de juntas y posiciones. La figura 15, ilustra dicho proceso, (Larry, 2009)

### Figura 15

*Soldadura por arco con electrodo revestido*



Fuente: Larry, J. (2009)

#### 2.8.2.2 Principio de funcionamiento.

En esencia, el procedimiento consiste en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado (Figura 16) que requiere una fuente de corriente adecuada dotado de dos terminales, uno de ellos conectado por medio de un cable a una porta electrodo, en cuya pinza se sujeta un electrodo revestido; el otro terminal se conecta, a su vez, a través de un cable de retorno y una pinza de masa, a la pieza. El circuito se cierra a través del arco que salta entre el extremo del electrodo y el punto de soldeo en la pieza. (Alonso, 2012)

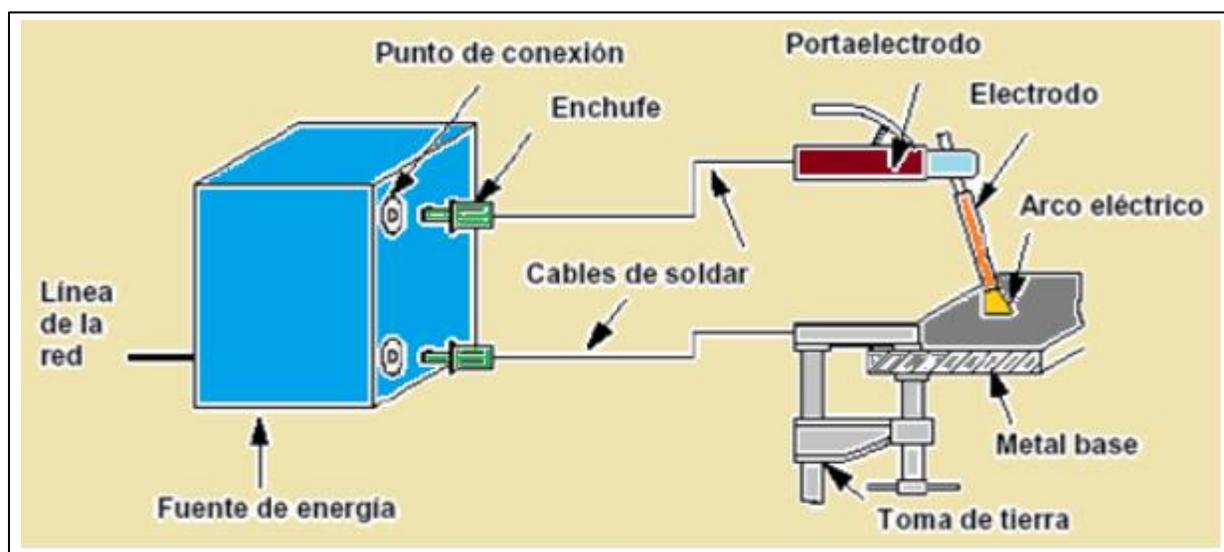
El proceso se inicia con el cebado del arco, operación consistente en tocar, por brevísimos instantes, la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera, el calentamiento del punto de contacto y de las zonas

inmediatas, particularmente el extremo del electrodo. La temperatura alcanzada por éste puede llegar a la de incandescencia, a pesar del corto tiempo de contacto, siendo suficiente para que, una vez separado el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del mismo produzca una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la tensión, chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, a los que expulsa de sus órbitas, lo cual genera una atmósfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire, con lo que, a los electrones emitidos por el electrodo incandescente se suma el torrente de electrones conducido por ésta, que se proyectan sobre el ánodo, provocando su fusión parcial y produciéndose así el salto del arco.

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, muy por encima de la de fusión del metal — temperaturas del orden de  $5000^{\circ}\text{C}$  son normales en cualquier arco de forma que, tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base, se funden. Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal de base también fundido, mezclándose con él y formando lo que se denomina baño de fusión.

### Figura 16

*Circuito del proceso SMAW.*



Fuente: Larry, J. (2009)

### 2.8.2.3 Ventajas y Limitaciones del Soldeo

#### a. Ventajas

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante, el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal. (Labrador, 2018)

#### b. Limitaciones

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirarla escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño y cinc, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 – 2 mm.

- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como el soldeo con alambre tubular o soldeo MIG / MAG. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. (Labrador, 2018)

#### **2.8.2.4 Variables de soldeo del proceso**

##### **a. Diámetro del electrodo**

Se debe seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para el soldeo de materiales de gran espesor y para el soldeo en posición plana, debido a sus altas tasas de deposición.

En el soldeo en posición cornisa, vertical y bajo techo el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es tanto más acusado, y tanto más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste, es decir cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá utilizar electrodos de menor diámetro.

Asimismo, en el soldeo con pasadas múltiples el cordón de raíz conviene efectuarlo con un electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión y asegurar una buena penetración, se utilizarán electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

El aporte térmico depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro. (Asociación española de soldadura y tecnologías de unión. (BFMéxico. , 2022)

#### **b. Intensidad de corriente eléctrica para el soldeo**

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se deben utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. (BFMéxico. , 2022)

#### **c. Longitud de arco**

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros).

Según se va aumentando la velocidad de soldeo, el cordón se va haciendo más estrecho y va aumentando la penetración hasta un cierto punto a partir del cual aumentos en la velocidad traen como consecuencia una disminución de la penetración, debido a que el calor introducido no es suficiente para conseguir una mayor penetración. Con una baja velocidad el cordón será ancho y convexo y poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado, (efecto “colchón”), en vez de concentrarse sobre el metal base. Esto último también

afecta a la dilución, y cuando deseamos que esta sea baja, como por ejemplo durante el recargue por electrodo revestido, la velocidad debe ser baja. Así mismo, recordar que la velocidad de soldeo afecta al calor suministrando a la unión por medio de velocidad de enfriamiento y por lo tanto a su estructura metalúrgica final y como consecuencia directa a sus propiedades mecánicas finales (carga, rotura, impacto y durezas). (BFMéxico. , 2022)

#### **d. Velocidad de desplazamiento**

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. (BFMéxico. , 2022)

#### **e. Tipo de corriente**

El soldeo por arco con electrodos revestidos se realiza con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de energía disponible, del electrodo a utilizar y del material base. En la tabla 4, se muestra una comparación de tipo de corriente.

**Tabla 4**

*Comparación entre corriente continua y corriente alterna*

Parámetro	Corriente Continua	Corriente Alterna
Soldeo a gran distancia de la energía		preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta más fácil.	Si no se actúa con gran precaución se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco.
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.

Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No se presentan problemas.
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones verticales y bajo techo por que deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo.	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco. Se prefiere espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos.
Espesor de la pinza	Se prefiere para espesores delgados.	

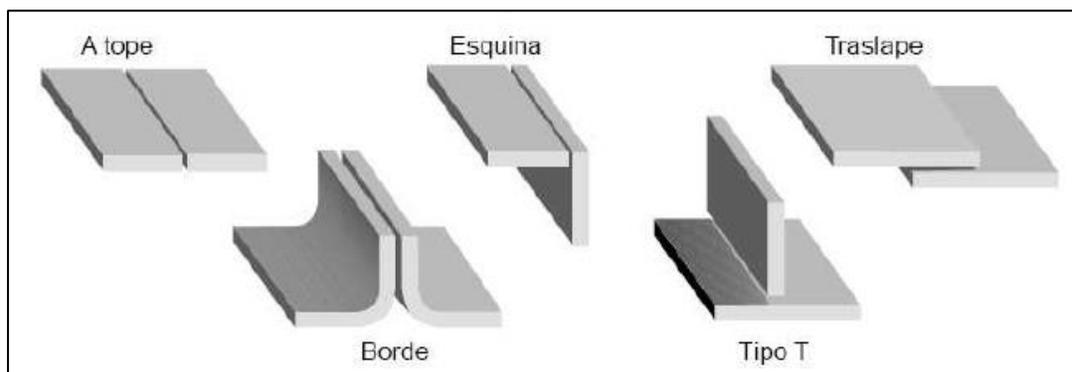
Fuente: Asociación Española de Soldadura Tecnologías de unión CESO (2020)

## 2.9 Tipos de junta

Cuando las piezas de acero son llevadas a la forma de junta, ellas pueden asumir una de las cinco configuraciones presentadas en la Figura 17. Los tipos de juntas son las posiciones relativas de los materiales que van a ser unidos y no implica un tipo específico de soldadura.

**Figura 17**

*Tipos de junta*



Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

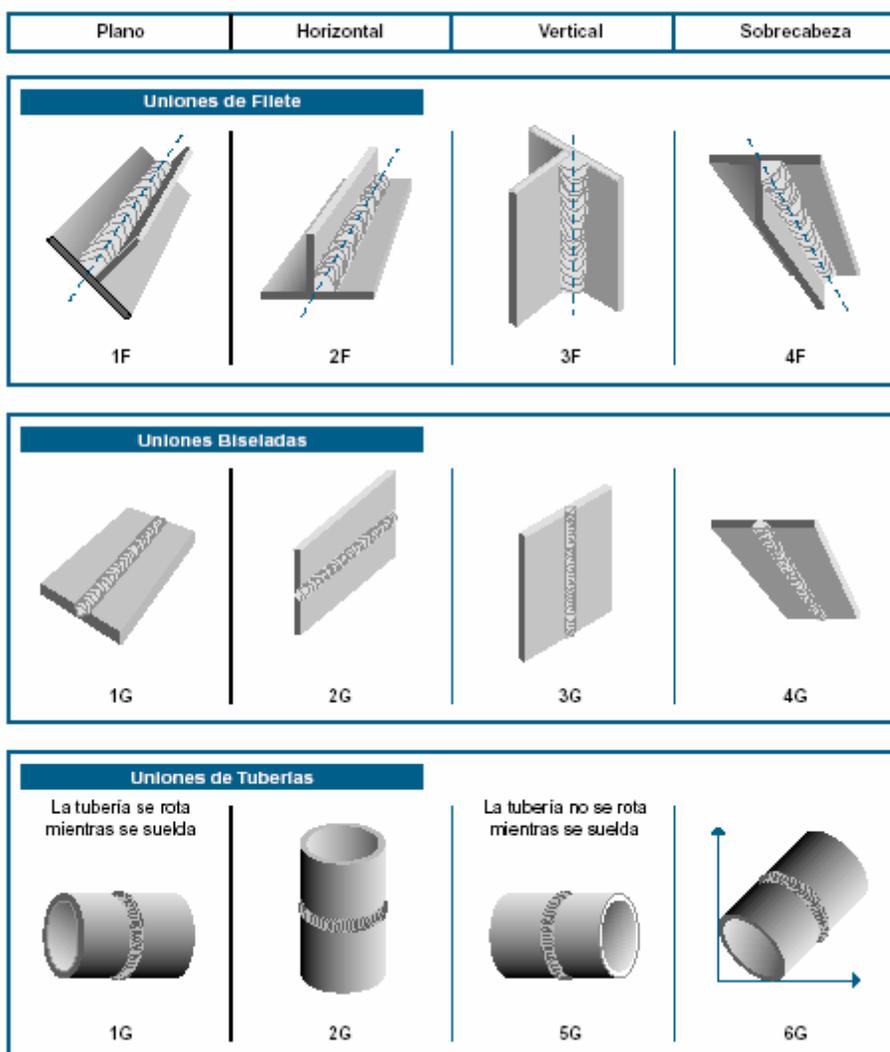
## 2.10 Posiciones de Soldadura

Son las diferentes orientaciones del soldador respecto al material base y de acuerdo a la AWS son las siguientes, como se indica en la figura 18.

**Figura 18**

*Posiciones de soldadura*

Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.



Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000).

## 2.11 Pruebas no Destructivas

Las pruebas no destructivas o los ensayos no destructivos consisten en aplicar principios de física para detectar defectos o discontinuidades en los materiales, sin afectar su utilidad.

Hay varios métodos o técnicas de ensayo. De ellos, la inspección visual es la más importante y la que se usa más ampliamente. Se ha acelerado considerablemente el crecimiento de las pruebas no destructivas por la necesidad de productos de más alta calidad y mejor confiabilidad. En el campo de la soldadura además de la inspección visual existen cuatro pruebas no destructivas que son las que se utilizan más ampliamente y son:

- El ensayo con líquidos penetrantes ya sea colorante o por fluorescencia
- El ensayo con partículas magnéticas
- El ensayo con ultrasonido
- Ensayos radiográficos

Cada una de estas técnicas tiene sus ventajas específicas, así como sus limitaciones. La guía para la examinación no destructiva de soldaduras menciona las ventajas o desventajas de su utilización respectiva.

La inspección de juntas unidas por cordones de soldadura, se realiza utilizando métodos, los controles que se recomiendan hacer a nivel normal en las soldaduras son:

- Los controles visuales y de dimensionado geométrico de soldaduras en el 5% de las soldaduras de fuerza
- Controles radiográficos y por ultrasonidos o líquidos penetrantes en el 2% de las uniones de los nudos.

## **2.12 Discontinuidades y Defectos en la Soldadura**

Para poder comprender mejor que es una discontinuidad y un defecto a continuación se describe la definición de cada uno.

Discontinuidad. – se define como la falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

Defecto. – se define como una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica.

En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.

A continuación, se detallan los defectos y discontinuidades más frecuentes en la soldadura.

### **2.12.1 Porosidad**

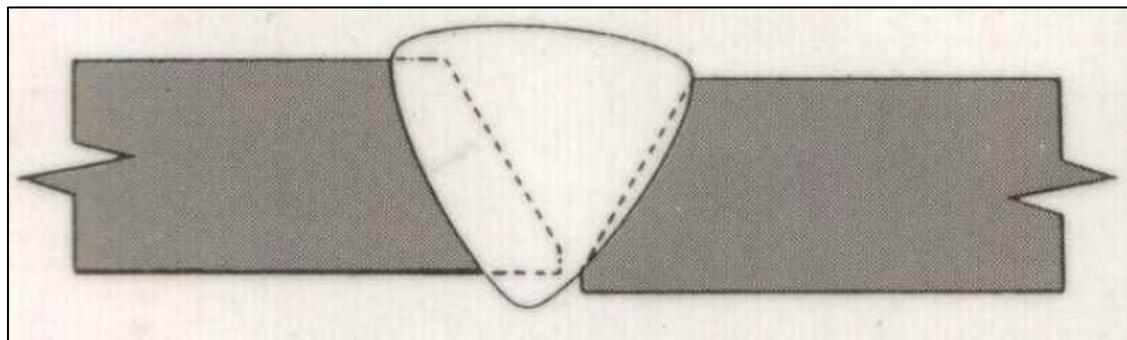
Se usa para describir los huecos globulares, libre de todo material sólido, que se encuentra con frecuencia en los cordones de soldadura, las porosidades son poros de gas o huecos en el metal de soldadura, es el resultado de la formación de gases por reacciones químicas que ocurren durante la soldadura.

Si se emplea una corriente elevada o un arco largo, los desoxidantes que un electrodo requiere se pierden fácilmente durante la aportación; la cantidad que queda no basta para desoxidar el metal fundido de una forma correcta, por lo que se puede generar poros si existe humedad en el ambiente o en el proceso, como se muestra en la figura 19. (Echevarria, 2002)

**Figura 19***Porosidades***2.12.2 Fusión Incompleta**

Es la incapacidad para fusionar franjas adyacentes de metal de soldadura, o en el metal de soldadura, o el metal de soldadura con el metal base. Se puede tratar de una condición localizada o generalizada y puede ocurrir en cualquier lugar del surco de soldadura, incluso en la raíz de la misma unión.

Esto se debe a que el metal base o la franja de metal depositado no se elevó al punto de fusión (ver figura 20), la carencia de fundente, no se disolvieron los óxidos o demás materiales extraños que podrían estar presentes. (Echevarria, 2002)

**Figura 20***Fusión incompleta*

### 2.12.3 Falta de Penetración

Este defecto se produce porque el metal fundido no ingresa en la ranura hasta el fondo de la raíz a causa de insuficiente separación o una corriente insuficiente que ocasiona temperaturas bajas de fusión.

Aunque la penetración incompleta se debe en unos cuantos casos a la falta de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie, las condiciones de transmisión de calor que existen en la junta son la fuente más frecuente de este defecto.

La penetración incompleta (figura 21) es indeseable, particularmente si la raíz de la soldadura está sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos flexionantes. El área que no se funde permite concentraciones de esfuerzos que pueden resultar en fallas sin deformación apreciable. (Echevarria, 2002)

#### Figura 21

*Falta de penetración*



### 2.12.4 Inclusiones de Escoria

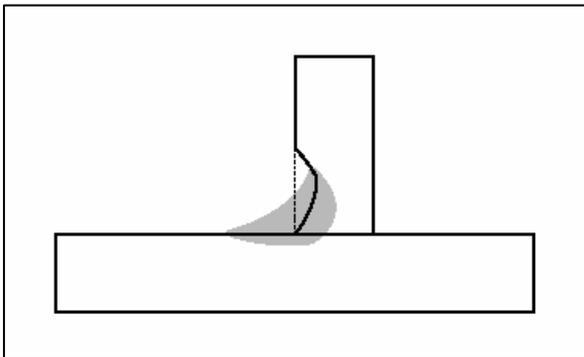
Se hace referencia a los óxidos y sólidos no metálicos que se quedan en el cordón de soldadura entre franjas adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base.

La escoria puede aparecer cuando se suelda sobre una grieta entre dos franjas paralelas convexas, entre una franja convexa y una pared lateral o cuando se suelda en posición descendente, esto puede ocasionar una escoria muy viscosa o que se solidifica con rapidez. (Echevarria, 2002)

**Figura 22***Inclusión de escoria***2.12.5 Socavamiento**

Se obtiene cuando se derriten las paredes laterales del surco de la soldadura, cuando ocurre en pases interiores se suele ocasionar con la inclusión de escoria en las oquedades producidas por el socavamiento.

La aceptación del socavamiento está dada por las normas y códigos. El socavamiento se lo detecta con inspección visual, se lo corrige con abrasión y con el depósito de cordones de relleno.

**Figura 23***Socavamiento***2.12.6 Grietas o Fisuras**

El agrietamiento de las juntas soldadas (figura 23), ocurre por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados, que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal.

Cuando se abren grietas durante la soldadura o como resultado de ésta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo

Generalmente se producen por agrietamientos en frío o en caliente, pueden estar en: el metal base, el metal de soldadura o la zona afectada por el calor.

Si se observa fisuras durante la soldadura, se las debe eliminar antes de seguir soldando, pues al depositar metal de soldadura sobre una grieta esta puede continuar hacia la franja recién depositada.

Después que se ha enfriado una junta soldada, hay más probabilidades de que ocurra agrietamiento cuando el material es duro o frágil. Un material dúctil soporta concentraciones de esfuerzo que pudieran ocasionar falla en un material duro o frágil.

Cuando se encuentra el problema de agrietamiento de la primera capa de metal de la soldadura, pueden lograrse mejoras aplicando uno o más de las siguientes modificaciones. (Echevarria, 2002)

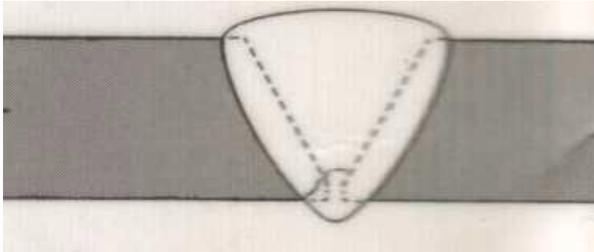
Modificar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, lo que cambiará el contorno o la composición del depósito.

Disminuir la rapidez de avance, para aumentar el espesor del depósito, aportando con ello más metal de soldadura para resistir los esfuerzos que se están generando.

Auxiliarse con precalentamiento, para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que está imponiendo.

## Figura 24

*Grieta longitudinal*



### 2.13 Normas de Admisibilidad

Las normas de admisibilidad usadas para todo el proceso de calificación son la norma ASME IX y API 1104, en las cuales nos especifican los criterios de aceptación de los defectos y discontinuidades que se producen en la soldadura.

#### 2.13.1 Porosidad

Se define como un gas atrapado por la solidificación del material de soldadura, antes de que el gas pueda salir a la superficie, se puede considerar como defecto cuando unido las especificaciones que se anotan a continuación:

- La medida del poro no debe exceder 1/8 in (3 mm).
- La medida del poro no debe exceder el 25% de la medida nominal del espesor de la junta soldada.

Además, se puede establecer otro tipo de criterio de aceptación cuando los poros se encuentran agrupados en el material, que se muestran a continuación. (Echevarria, 2002)

- El diámetro de los poros agrupados excede 1/2 in (13mm).
- Cuando un poro individual dentro de agrupación excede 2 mm de la longitud.

### **2.13.2 Fusión Incompleta**

Se define como la imperfección entre el material base y el cordón de soldadura, a continuación, se muestra los criterios de aceptación.

- Cuando la longitud de la fusión incompleta exceda 1 in (25mm).
- Cuando la longitud agregada de indicación continua en 12 in (300mm) y excede 1 in (25 mm) de longitud.
- Cuando la longitud de la fusión incompleta excede el 8% de la longitud nominal del cordón de soldadura.

### **2.13.3 Grietas o Fisuras**

Se pueden considerar como defectos cuando tengan las siguientes condiciones:

- Cuando en la soldadura se presenta dentro de un cráter o la formación del mismo en forma estrellada.
- Las fisuras no deben exceder 5/32 in (4 mm) de longitud.

### **2.13.4 Inclusiones de Escoria**

Se define como la inclusión de un material no metálico en el cordón de soldadura, para poder definir este defecto se usa el proceso de ensayo radiográfico en el cual establece que si la medida de la inclusión es considerable se considera como defecto, en tuberías cuando el diámetro es de 2.375 in (60.3 mm), la inclusión no debe sobre pasar una longitud de 50 mm.

### ***2.13.5 Socavamiento***

Este defecto se definió anteriormente, para poder determinar su grado de admisibilidad es necesario realizar una radiografía y comparar con el dispositivo de medida colocado en el material base, y sacar una conclusión.

## CAPITULO III

### DIMENSIONAMIENTO DE LA MAQUINA

#### 3.1 Selección del material

La selección de materiales implica elegir los materiales adecuados para cumplir con los requisitos de diseño, operación y mantenimiento de un componente, manteniendo un costo razonable. El avance tecnológico ha sido impulsado por el desarrollo de nuevos materiales y procesos de fabricación. Una buena selección de materiales y procesos asegura el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos. No obstante, esta elección debe considerar tanto los factores de diseño como los de manufactura. Los parámetros que deben considerarse:

##### a. Costo

El costo del material es crucial en la selección de materiales, especialmente para fabricar máquinas de ensayo de doblado en soldadura que sean efectivas y económicas. En muchos casos, el costo del material representa aproximadamente la mitad del costo de producción total. Aunque un material más barato puede reducir el costo final, en algunos casos es más eficiente optar por un material costoso que permita procesos de fabricación más simples y económicos, mientras que materiales más baratos pueden requerir métodos de producción más complejos y costosos.

##### b. Propiedades de los materiales

Los materiales tienen una gama de propiedades, las mismas que se deben considerar para la selección de un material. En la tabla 5 se expone algunas propiedades muy importantes, tales como, el Módulo de elasticidad (E), Resistencia a la fluencia en tensión, de resistencia a la tracción, tenacidad, densidad, etc.

**Tabla 5***Propiedades de los materiales*

MATERIAL	E (Gpa)	Resistencia a la fluencia (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Tenacidad de fractura (Mpa m <sup>1/2</sup> )	Densidad (Kg m <sup>-3</sup> )
Aceros	200-220	200-1800	350-2300	80-170	7,8-7,9
Hierros de fundición	150-180	100-500	300-1000	6,-20	7,2-7,6
Aleaciones de aluminio	70	25-500	70-600	5,-70	2,7-2,8
Aleaciones de cobre	90-130	70-1000	220-1400	30-120	8,4-8,9
Aleaciones de manganesio	40-50	30-250	60-300		1,7-1,8
Aleaciones de níquel	180-220	60-1200	200-1400	>100	7,9-8,9
Aleaciones de titanio	100-120	800-1400	350-1500	50-100	4,4-4,5
Aleaciones de zinc	70-90	50-300	150-350		6,7-7,1
Polietileno (PEBD)	0,12-0,25		1,-16	1,-2	0,91-0,94
Polietileno (PEAD)	0,45-1,4		20-38	2,-5	0,95-0,97
Polipropileno	0,5-1,9		20-40	3,5	0,90-0,91
PTFE	0,35-0,6		17-28		2,1-2,25
Poliestireno (PS)	2,8-3,5		38-85	2	1,0-1,1
PVC rígido	2,4-4,0		24-64	2,4	1,4-1,5
Acrílico (PMMA)	2,7-3,5		50-80	1,6	1,2
Nylons (PA)	2,0-3,5		60-100	3,-5	1,05-1,15
Resinas de fenol					1,05-1,15
formaldehído	5,-8		35-55		
Resinas de poliéster	1,3-4,5		45-85	0,5	1,25
Resinas epóxicas	2,1-5,5		40-85	0,6-1	1,1-1,4
Plásticos con refuerzos					1,1-1,4
de fibra de vidrio	10,-45		100-300	20-60	
Plásticos con refuerzos					
de fibra de carbono	70-200		70-650	30-45	1,55-2,0
Vidrio de soda	74		50*	0,7	2,5
Alúmina	380		300-400*	3,-5	3,9
Carburo de silicio	410		200-500*		3,2
Nitruro de silicio	310		300-850*	4	3,2
Concreto	30-50		7*	0,2	2,4-2,5

Fuente: Film Richard; Trojan Paúl, (1979)

Son muchas las propiedades de los materiales, la mayoría de ellas cuantificables, y que tal vez requieran considerarse en un proceso de selección. Entre otras tenemos: Módulo elástico, resistencia a la fluencia y resistencia máxima, dureza y resistencia al desgaste, ductilidad, tenacidad, tenacidad de fractura, resistencia a la fatiga, características de fluencia lenta, resistencia

a la corrosión y a la oxidación, propiedades eléctricas, propiedades magnéticas, dilatabilidad y conductividad térmicas, densidad o masa específica, entre otras.

### 3.1.1 Materiales a Usados en la construcción

En la tabla 6 se detalla los materiales usados en la construcción del equipo de doblez.

**Tabla 6**

*Materiales utilizados en la construcción del sistema mecánico*

<b>Nombre</b>	<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Base	ASTM A36	Es el lugar donde estarán todos los elementos del sistema mecánico
Columnas laterales	ASTM A36	Es la parte donde irán colocado la viga superior, el gato, etc. Estas están unidas por la viga superior.
Rodillos de apoyo	ASTM A36	Son los rodillos donde irán las probetas para realizar los diferentes ensayos
Viga superior	ASTM A36	Es una pieza de soporte del gato hidráulico y los punzones
Punzon (radio 27 mm – 1 1/16”)	ASTM A36	Punzón utilizado para el ensayo de placas de espesor 3.18mm (1/8”)
Punzon (radio 23mm (29/32”))	ASTM A36	Punzón utilizado para el ensayo de placas de espesor 6.35mm (1/4”)
Punzon (Radio 19mm (3/4”))	ASTM A36	Punzón utilizado para el ensayo de placas de Espesor 9.53mm (3/8”)
Eje roscado	ASTM A36	Eje que será montado en el mantenedor y ayudar a soportar la tensión que genera el ensayo
Resorte de retorno	ASTM A 229	Alambre revenido en aceite

### 3.2 Equipos y Herramientas Utilizados en la Construcción del Equipo

En la tabla 7 se observa los equipos y herramientas usados en la construcción.

**Tabla 7***Equipos y herramientas usados*

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>
Torno	Máquina herramienta que la utilizamos para máquinar piezas como los rodillos, punzón y eje roscado
Máquina de soldar	Se la uso soldar la estructura metálica y las probetas de prueba.
Amoladora	Se uso para cortar angulares para la base.
Corte por plasma CNC	Para cortar las piezas que forman la viga.
Flexometro	Utilizado para tomar medidas.

### 3.3 Etapas en la Construcción del Sistema Mecánico

La construcción del equipo pasa por una serie de etapas, dichas etapas se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8***Etapas de construcción*

<b>N.-</b>	<b>Detalle</b>	<b>Descripción</b>
1	Diseño del proyecto	Uillaje en un software de Solid Works
2	Diseño Final fabricación De las partes componentes según norma ASTM-E190*	Dimensionamiento de los mecanismos acoples y accesorios. - Asignación de materiales a los componentes de las partes
3	Construcción de utillaje y acabado	Mecanizado, rectificado, pintura y ensamblaje
4	Pruebas de ensamblaje y operatividad.	Ensamblaje de las partes, mecanismos y accesorios. - Prueba con probetas soldadas

\* La ASTM E190 es una norma desarrollada por el Comité de Prácticas de Soldadura de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM International). Esta norma tiene como objetivo establecer procedimientos estandarizados para realizar la prueba de curvatura guiada en soldaduras y evaluar su ductilidad.

### 3.4 Cálculo de Dimensiones de Elementos para Realizar Dobleces en U de Acuerdo con la Norma ASTM E-190

La Tabla 9 muestra las dimensiones requeridas para una máquina de dobleces en U que cumpla con la norma ASTM E-190. Sin embargo, el objetivo es adaptar una prensa hidráulica para convertirla en una máquina de dobleces mediante el diseño y la fabricación de accesorios específicos para el dobleces de placas de distintos espesores. Se ha prestado especial atención a obtener las dimensiones adecuadas para la curvatura del dobleces en U, según el espesor de la placa o probeta, conforme a las especificaciones de la norma ASTM E-190.

**Tabla 9**

*Dimensiones del embolo y distancia entre apoyos para realizar dobleces en U, en espesores de 1/8", 1/4" y 3/8".*

Identificación de las probetas.	Espesor de probeta, mm (pulg)	Distancia entre rodillos de apoyo, mm (pulg)	Radio de embolo, mm (pulg)	Diámetro de rodillos de apoyo, mm (pulg)
A <sub>1</sub>	3.18 (1/8)	60.36 (2 3/8)	27 (1 1/16)	≥38 (1 1/2)
A <sub>2</sub>	6.35 (1/4)	60.36 (2 3/8)	23 (29/32)	≥38 (1 1/2)
A <sub>3</sub>	9.53 (3/8)	60.36 (2 3/8)	19 (3/4)	≥38 (1 1/2)

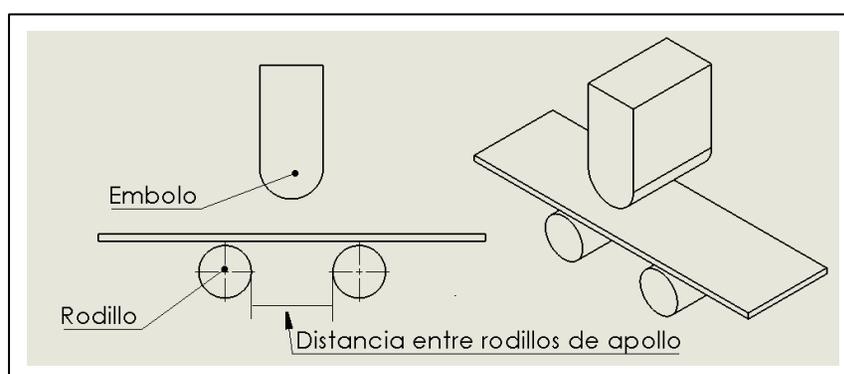
#### 3.4.1 Análisis de Carga y Energía para Realizar Dobleces en U

A continuación, se presentan las fórmulas necesarias para el proceso de doblado en U (ver ecuaciones 1 y 2), las cuales facilitarán los cálculos para el diseño de los accesorios. Cabe destacar que la máquina de doblado que se pretende adaptar a partir de una prensa hidráulica, junto con los accesorios a fabricar, será distinta al modelo que se muestra a continuación. El proceso de doblado se llevará a cabo mediante un punzón o embolo que aplicará la fuerza, y dos rodillos que funcionarán como puntos de apoyo y guía, como se ilustra en la Figura 25. No obstante, estas

fórmulas son aplicables en el diseño de los accesorios que se integrarán a la prensa hidráulica, constituyendo así la máquina para realizar doblados en U, tal como se detalla a continuación.

### Figura 25

*Mecanismo básico de cómo se realizará el doblado en U.*



#### 3.4.1.1 Parámetros Iniciales de Diseño

Para el presente proyecto, se cuenta con una prensa hidráulica de 20 toneladas, con los datos de las probetas según las diferentes dimensiones y espesores dados por las normas ASTM E190, AWSB4.0 Y API1104, se determinarán los cálculos necesarios para construir el utillaje para el ensayo de doblado guiado. En la tabla 10, se enumeran los parámetros iniciales de diseño y el tipo de acero.

**Tabla 10**

*Parámetros iniciales de diseño*

<b>Parámetros</b>	<b>Características</b>
Metal base	ASTM A36
Rodillos de apoyo	ASTM A36
Punzones	ASTM A36
Prensa Hidráulica	20 toneladas
Probetas a ensayar	Espesor de :1/8", 1/4" y 3/8"

### 3.4.1.2 Dimensiones de elementos para realizar dobléz en U de acuerdo con la norma ASTM E-190

En la Tabla 11 se presenta las dimensiones necesarias de una máquina de dobléz 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 dobléz, a partir del diseño y fabricación de accesorios para el dobléz de varios espesores de placas. Así, se ha tenido el cuidado de obtener las dimensiones de la curvatura del dobléz en U según el espesor de la placa o probeta, de acuerdo a lo que la norma ASTM E-190 especifica.

**Tabla 11**

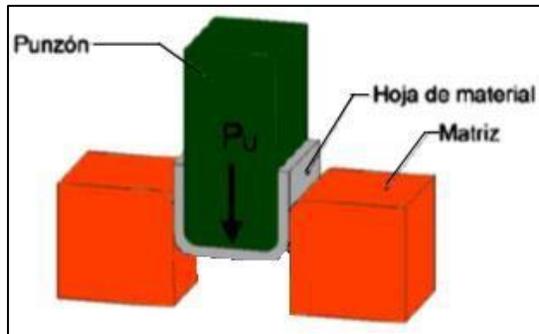
*Dimensiones de émbolo y distancia entre apoyos para realizar dobléz en U a diferentes espesores de probeta, según norma ASTM E-190*

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 <sup>3</sup> /8)	27 (1 <sup>1</sup> /16)	≥38 (1 <sup>1</sup> /2)
6.35 (1/4)	60.36 ( 2 <sup>3</sup> /8)	23 (29/32)	≥38 (1 <sup>1</sup> /2)
9.53 (3/8)	60.36 ( 2 <sup>3</sup> /8)	19 (3/4)	≥38 (1 <sup>1</sup> /2)

Es importante que el utillaje a construir para el ensayo doblado guiado debe partir de la deformación del material (Sut y Sy)., según la figura 26.

**Figura 26**

*Estructura del utillaje de ensayo doblado guiado*



**a) Fuerza requerida para la transformación**

$$P_U = k_3 * \sigma_B * t * w \quad [kN] \quad (\text{Ec.1})$$

donde:

$P_U$  = Fuerza para realizar el doblado en "U" (kN).

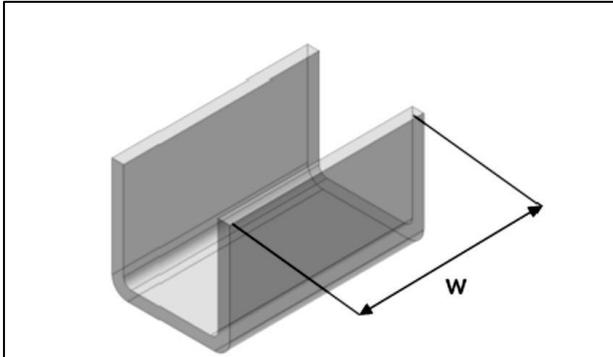
$K_3$  = Constante experimental para cálculo de fuerza 0.4 [u.a.],

$\sigma_B$  = Resistencia a la tracción (30 kgf/mm<sup>2</sup>, para acero A36)

$t$  = Espesor del material (mm).

$w$  = Ancho del doblado (mm).

Para un mejor entendimiento, en la figura 26, se muestra el ancho de doblado ( $w$ )

**Figura 27***Longitud de dobléz en U***b) Fuerza necesaria para el cojín**

$$P_{UP} = [1/4 \approx 1/3] P_U \text{ (kN)}$$

donde:

$P_U$  es la fuerza para la transformación en kN.

**c) Fuerza total**

$$P_{UT} = (P_U + P_{UP}) \text{ [kN]} \quad \text{(Ec. 2)}$$

donde:

$$P_{UT} = \text{Fuerza total} \quad \text{(KN).}$$

**d) Energía requerida para la transformación**

$$E_U = (P_{UT} * h_U * k_A) \text{ (kgf * m)} \quad \text{(Ec. 3)}$$

Donde:

$E_U$  = Energía requerida para el doblado en U (J).

$h_U$  = Longitud de carrera para la transformación (mm).

$k_4$  = Constante experimental para el cálculo de la energía igual a 0.6 [u.a.].

### e) Características de la transformación

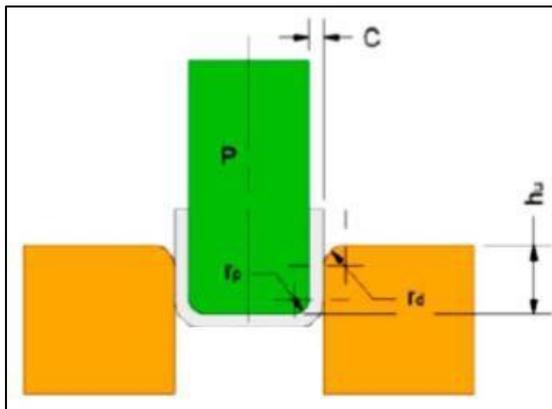
Condiciones de la estructura del herramental para realizar doblé en U.

Condiciones para la transformación:

$$5 > r_p/t > 0.0085 \sigma/Be + 0.5 \quad (\text{Ec. 4})$$

### Figura 28

*Condiciones para la transformación*



Donde:

P = Punzón

PP = Botador

$r_p$  = Radio del punzón

$r_d$  = Radio de la matriz

$$r_d = (2.5 \approx 3) t$$

$$a = 0.5t$$

$$c = \text{Claro } (c=t)$$

$$h_u = (6 \approx 8) t$$

$e$ : Tasa de elongación del material

### **3.4.1.3 Cálculo de esfuerzo y energía necesaria para realizar el doblé en U a pletinas con las dimensiones especificadas en la Tabla 5:**

El material de las probetas son de acero ASTM A-36, ya que todo el equipo es fabricado con acero ASTM A36. El acero A-36 posee una resistencia a la tracción de entre 25 y 35 kgf/mm<sup>2</sup>.

#### **Probeta A<sub>1</sub>:**

- Espesor ( $t$ ) = 3.18 mm (1/8").
- Ancho( $w$ ) = 38 mm (1 1/2").

Datos:

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

$\sigma_B$  = es la resistencia a la tracción (36 kgf/mm<sup>2</sup>, para acero ASTM A36)

$t$  = es el espesor de la probeta 3.18 mm

$w$  = es el ancho de la probeta 25.4 mm

$$P_U = (k_3 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot w)$$

Reemplazando:

$$P_U = \frac{(0.4 * 36 * 3.18 * 25.4)}{1000}$$

$$P_U = 1.1635 \text{ tf} = 11.4101 \text{ kN}$$

Para el cálculo de la energía necesaria se debe conocer  $h_U$

$h_U$  = Es la longitud de carrera para la transformación, es estimado entre 6 a 8, por el espesor del material:

$$h_U = (6 \approx 8)t \quad h_U = (7)(3.18)$$

$$h_U = 22.26 \text{ mm}$$

Cálculo de la energía necesaria para realizar el doblado Datos:

$P_U$  = es la fuerza para realizar el doblado en "U" 1.1635 tf,

$h_U$  = es la longitud de carrera para la transformación 22.26 mm.

$K_4$  = es constante experimental para el cálculo de la energía igual a 0.6 [u.a.].

$$E_U = P_U \cdot h_U \cdot k_4$$

$$E_U = 1.1635 * 22.26 * 0.6 \quad E_U = 15.5397 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

### **Probeta A2:**

- Espesor (t) = 6.35 mm (1/4").

- Ancho(w) = 38.1 mm (1 1/2").

Datos:

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

$\sigma_B$  = es la resistencia a la tracción (36 kgf/mm<sup>2</sup>, para acero ASTM A36

t = es el espesor de la probeta 6.35 mm

$w$  = es el ancho de la probeta 38.1 mm

$$P_U = k_3 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot w$$

$$P_U = \frac{(0.4 * 36 * 6.35 * 38.1)}{1000}$$

$$P_U = 3.4838 \text{ tf} = 34.1766 \text{ kN}$$

$$h_U = (6 \approx 8) t$$

$$h_U = (8)(6.35)$$

$$h_U = 50.8 \text{ mm}$$

$$E_U = P_U \cdot h_U \cdot k_4$$

$$E_U = (3.4838)(50.8)(0.6)$$

$$E_U = 106.1862 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

### **Probeta A3:**

- Espesor ( $t$ ) = 9.53 mm (3/8").
- Ancho( $w$ ) = 50.8 mm (1 1/2").

Datos:

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

$\sigma_B$  = es la resistencia a la tracción (36 kgf/mm<sup>2</sup>, para acero A36)  $t$  = es el espesor de la probeta 9.53 mm

$w$  = es el ancho de la probeta 50.8 mm

$$P_U = k_3 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot w$$

$$P_U = \frac{(0.4 * 36 * 9.53 * 50.8)}{1000}$$

$$P_U = 6.9713 \text{ tf} = 68.3891 \text{ kN}$$

$$h_U = (6 \approx 8) \text{ t}$$

$$h_U = (8)(9.53) \quad h_U = 76.24 \text{ mm}$$

$$E_U = P_U \cdot h_U \cdot k_4$$

$$E_U = (6.9713)(76.24) ($$

$$E_U = 318.8951 \text{ kgf.m}$$

### **Cálculo de la fuerza necesaria para doblar en U de diseño $P_{UD}$**

El cálculo de la fuerza necesaria para doblar en U de diseño, se realiza para una correcta selección de la prensa hidráulica.

Esta fuerza se calcula considerando entre 120% y 150% de la fuerza para realizar el doblar en U  $P_U$ .

- a. Probeta **A1** de espesor igual a 3.18 mm (1/8") y ancho igual a 25.4 mm (1")

$$P_{UD} = (P_U)(150\%)$$

$$P_{UD} = (1.1635 \text{ tf})(1.5)$$

$$P_{UD} = 1.7452 \text{ tf} = 17.1208 \text{ Kn} (1.74 \text{ Tn})$$

b. Probeta **A<sub>2</sub>** de espesor igual a 6.35 mm (1/4 pulg) y ancho igual a 38.1 mm (1 ½ pulg)

$$P_{UD} = (P_U)(150\%)$$

$$P_{UD} = (3.4838 \text{ tf})(1.5)$$

$$P_{UD} = 5.2257 \text{ tf} = 51.2639 \text{ Kn} (5.22 \text{ Tn})$$

c. Probeta **A<sub>3</sub>** de espesor igual a 9.53 mm (3/8 pulg) y ancho igual a 50.8 mm (2 pulg)

$$P_{UD} = (P_U)(150\%)$$

$$P_{UD} = (6.9713 \text{ tf})(1.5)$$

$$P_{UD} = 10.456 \text{ tf} = 102.573 \text{ kN} (10.45 \text{ Tn})$$

Para seleccionar adecuadamente una prensa se debe realizar a partir de la fuerza necesaria para doblar en U de diseño PUD, esta fuerza está entre 120% y 150% de la fuerza total (PUT) para realizar doblar en U.

A partir de los resultados de PUD, podemos determinar que la prensa de 20 Toneladas, con la que se cuenta, tiene la capacidad para ejecutar el doblar U de las probetas que se han considerado para los cálculos.

La ecuación 4 se utiliza para la determinar si las condiciones son óptimas para realizar el ensayo, para lo cual se realizan los cálculos con las probetas ya mencionadas.

#### **Probeta A<sub>1</sub>:**

Probeta de espesor igual a 3.18 mm (1/8 pulg) y ancho igual a 25.4 mm (1 pulg)

$$5 > \frac{r_p}{t} > 0.0085 \frac{\sigma}{B_e} + 0.5 \quad (\text{Ec. 4})$$

Reemplazando valores:

$$5 > \frac{27}{3.17} t > 0.0085 \frac{36}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 8.4905 > 0.5612$$

No cumple con las condiciones

**Probeta A<sub>2</sub>:**

Probeta de espesor igual a 6.35 mm (1/4 pulg)

$$5 > \frac{r_p}{t} t > 0.0085 \frac{\sigma}{B_e} + 0.5$$

Reemplazando valores:

$$5 > \frac{23}{6.35} t > 0.0085 \frac{36}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 3.622 > 0.5612$$

Si cumple con las condiciones

**Probeta A<sub>3</sub>:**

Probeta de espesor igual a 9.53 mm (3/8 pulg)

$$5 > \frac{r_p}{t} t > 0.0085 \frac{\sigma}{B_e} + 0.5$$

$$5 > \frac{19}{9.53} t > 0.0085 \frac{36}{0.2} + 0.5$$

$$5 > 1.9937 > 0.5612$$

Si cumple con las condiciones

A partir de los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se puede concluir que las dimensiones para doblar en U para la probeta de 3.18 mm no son óptimas, pero lo tomaremos en cuenta, porque el objetivo no es lograr un buen doblar sino evaluar la soldadura que será realizada en la probeta.

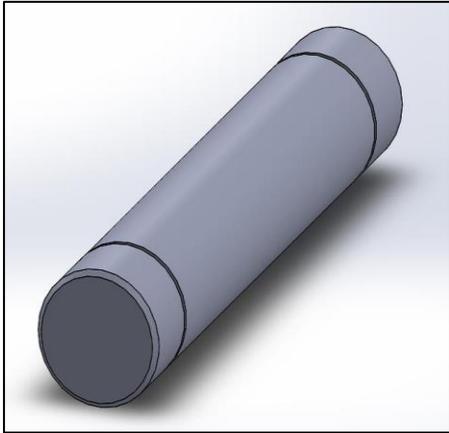
Para las probetas de 6.35 mm y 9.53 mm las dimensiones de la curva a realizar son óptimas, por lo tanto, se espera realizar el ensayo de doblar en U sin inconvenientes y poder evaluar la ductilidad de las soldaduras.

#### **3.4.1.4 Análisis de esfuerzos y dimensionamiento de accesorios para máquina de doblar 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 doblar en U, es por lo anterior que a continuación se detalla los elementos, sus esfuerzos, dimensiones y el material del cual serán fabricados.

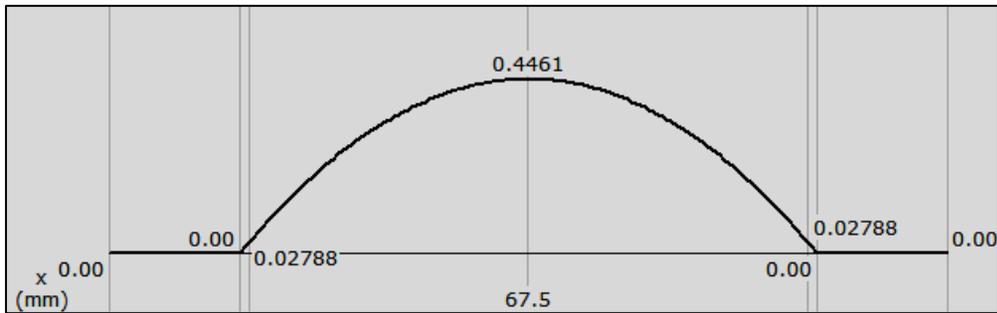
##### ***3.4.1.4.1 Ejes de apoyo.***

Los ejes 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. 27 se puede apreciar el elemento mencionado.

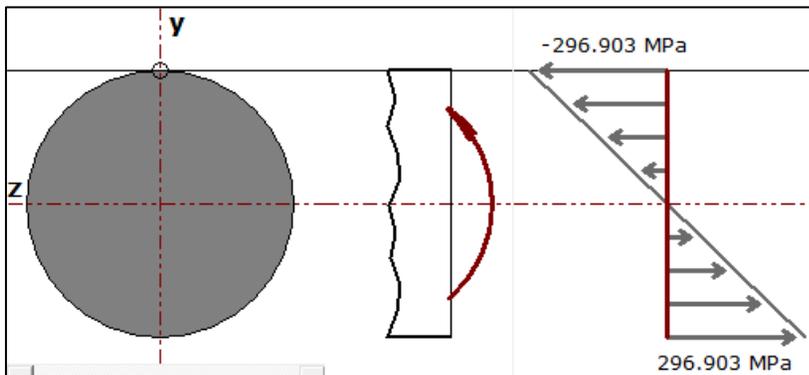
**Figura 29***Eje de apoyo*

Los ejes de apoyo tienen 135 mm de longitud y un diámetro de 25 mm. Se realizará un análisis de esfuerzos para seleccionar el material adecuado y verificar la viabilidad de estas dimensiones. Para el doblado en U de la probeta de 9.5 mm, se requiere la mayor fuerza de transformación, con una fuerza de diseño (PUD) de 102.533 kN. Esta fuerza se dividirá entre dos, ya que dos rodillos de apoyo están ubicados simétricamente respecto al punto de aplicación de la carga. Como resultado, cada rodillo deberá soportar 51.266 kN distribuidos en 135 mm, de cada rodillo.

Pero el tipo de esfuerzo más crítico en los ejes de apoyo 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. 30.

**Figura 30***Valor del esfuerzo maximo*

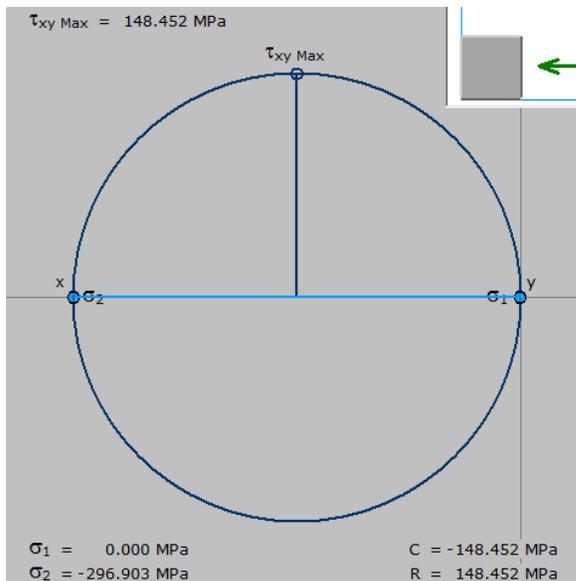
Debido a la flexión se generan esfuerzos normales que son máximos en la superficie y cuyo valor es de 296.903 MPa., tal como se observa en la figura 31.

**Figura 31***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 (figura 32) se calculan los esfuerzos principales.

**Figura 32**

Diagrama de círculo de Mohr para sección transversal de eje de apoyo.



Aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo, indica que la fluencia en una pieza se inicia cuando el esfuerzo cortante máximo se iguala al esfuerzo de fluencia del material, según la ecuación siguiente:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \geq \frac{S_y}{2}$$

donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo cortante máximo

$\sigma_1$  y  $\sigma_2$  = Son los esfuerzos principales

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia.

Reemplazando valores en la ecuación, se tiene:

$$112.53 \text{ MPa} \geq S_y/2$$

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

$$S_y \geq 225.064 \text{ MPa}$$

Para cumplir dicha condición se selecciona el acero ASTM A36, que tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa, (Sin embargo, puede variar ligeramente según el fabricante y las condiciones específicas de la materia.

#### ***3.4.1.4.2 Eje roscado de acople.***

Es un eje que tiene una rosca trapezoidal, es un elemento que se acopla a la prensa hidráulica con los diferentes punzones.

La carga a la que está sometida esta pieza es de compresión, dicha carga se acopla por medio del émbolo de la prensa hidráulica. Este eje se acopla a los punzones.

#### ***3.4.1.4.3 Cálculo de Esfuerzos de Tracción en las Columnas laterales***

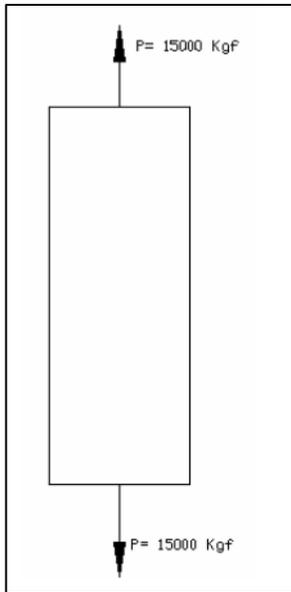
- **Datos de la columna**

L= 44.5 cm. (longitud)

A= 23.9 cm. (Área) Tablas

P= 15000 Kgf

E=  $2.1 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2$



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

$$\sigma = \frac{15000 \text{ kgf}}{23.9 \text{ cm}^2} = 627.61 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

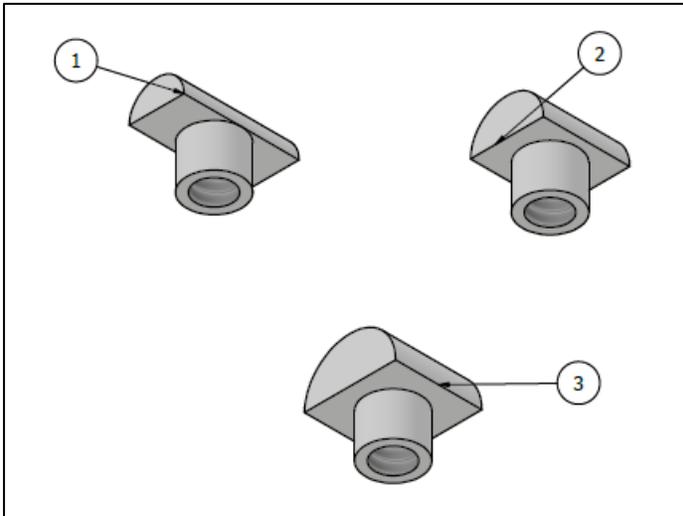
$$\delta = \frac{P * L}{A * E}$$

$$\delta = \frac{(15000 \text{ kgf} * 44.5 \text{ cm})}{23.9 \text{ cm}^2 * (2.1 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}$$

$$\delta = 0.021 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

#### 3.4.1.4.4 Punzón

Este elemento mostrado en la Figura 33, posee la curva que se quiere dar al doblar, se pretende fabricar tres punzones de diferentes dimensiones para poder evaluar tres diferentes espesores de probeta, estas cabezas deben ser de fácil montaje y desmontaje.

**Figura 33***Punzones de diferentes radios*

Estos punzones aplicarán la fuerza en el centro de la probeta, y esta condición de carga generará un esfuerzo de contacto. La cabeza del punzón más pequeña es la que soportará los mayores esfuerzos, debido a dos factores:

1. Su radio es menor, por lo que la fuerza se concentra en una huella reducida, maximizando el esfuerzo.
2. El punzón más pequeño se utiliza para doblar la probeta de mayor espesor, lo cual requiere aplicar una mayor fuerza.

Por lo tanto, se tomará los datos del punzón de menor tamaño. Cabe señalar que, en el diseño, las dimensiones se seleccionan de acuerdo con las curvaturas que establece la norma ASTM E-190 para el ensayo. El análisis de esfuerzos se utilizará para determinar el material adecuado. El punzón de menor tamaño corresponde a la usada para doblar probetas de 9.5 mm de espesor (3/8 pulg) y tiene un radio de 19 mm.:

$$w = 2.15 \sqrt{\frac{74343.96 \left( \frac{1}{200 \times 10^9} + 1/200 \times 10^9 \right)}{0.0381 \times \left( \frac{1}{\infty} + \frac{1}{0.19} \right)}} = 1.3091 \text{ mm}$$

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

$$P_{cmax} = \frac{4F}{\pi w b} = \frac{4(74343.96)}{\pi(1.3091)(0.0381)}$$

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

$$\tau_{max} = 0.304(1897.8330) = 245.941 \text{ Mpa}$$

Por el resultado obtenido, el material a utilizar es el ASTM A36, por tener este acero un esfuerzo de fluencia de 250 MPa.

### **3.5 Proceso de Construcción de Accesorios del Equipo**

#### **3.5.1 Ejes de Apoyo**

Para fabricar esta pieza, se utilizaron tres barras de acero ASTM A36 de 40 mm de diámetro y 90 mm de longitud.

Se cilindraron y refrentaron las barras.

#### **3.5.2 Eje roscado**

Es un eje espiral que conecta el punzón con el gato hidráulico, tiene una rosca trapezoidal con un ángulo de 30° de flanco.

### **3.6 Probetas Para Ensayo de Dobleces Guiado en U**

Las probetas serán fabricadas con el fin de evaluar si la máquina, compuesta por los accesorios y la prensa hidráulica descritos anteriormente, genera los dobleces en U con las

dimensiones especificadas en la norma ASTM E-190-92. Además, se verificará el análisis de esfuerzos calculados en los accesorios y la capacidad de la prensa hidráulica.

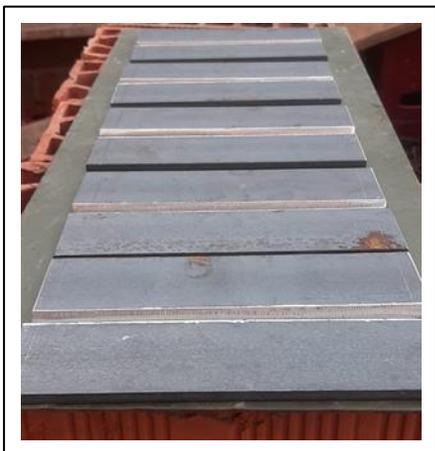
A continuación, se detalla el proceso de fabricación de las probetas usadas para comprobar el funcionamiento de la máquina de ensayo de doblez en U. Esta máquina fue diseñada para realizar dobleces en U en probetas de tres espesores: 3.18 mm, 6.35 mm y 9.53 mm (1/8, 1/4 y 3/8 de pulgada), con un ancho de 38.1 mm (1 ½ pulgada) y una longitud de 165.1 mm. Para reducir costos de corte y mecanizado, se utilizó una pletina de 38.1 mm (1 ½ pulgada) para estos espesores, y el acero empleado fue el ASTM A-36.

El procedimiento para obtener probetas de 165.1 mm (6") de longitud y 38.1 mm (1 ½ pulgada) de ancho en cada caso fue el siguiente:

En la figura 34 y 35, se observa las probetas preparadas y soldadas para la obtención de las muestras para realizar el ensayo de doblado.

### **Figura 34**

*Probetas para soldar*



Las probetas fueron soldadas según el siguiente WPS:

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica							
Especificación del procedimiento de soldadura						WPS	
Institución:	Particular			Identificación N°:	Probeta Únicas		
Proceso de soldadura:	SMAW			Soporte PQR N°:			
Tipo:	Manua l:	X	Automático	Semiautomático:	Maquina:		Miller- XMT 304 CC
Revisión:	00	Fecha:	23 /08/2024	Revisado por:			
Diseño de la junta.				Posición			
Tipo de junta:	A tope			Ranura:	Filete:		
Tipo de soldadura:	Ranura en "v"			Plancha:	1G	Tubería :	
	Abertura de raíz:	2 mm		Características eléctricas			
Talón altura de raíz o talón:	2 mm						
Angulo de ranura:	60°						
Soporte:	No			Corriente: proceso SMAW			
Material de aporte:	E 7018			DC:	DCEP		
Limpieza de la raíz:				Pulso:	DCEN	X	
Metal base				Técnica			
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilación	Recta	X
Grupo:				Pase:	Múltiple	Simple	
Especificación	ASTM A36			Limpieza en pases	Escobilla de acero		
Grado:				Pre calentamiento			
Espesor:	6.35 mm			Temperatura de pre calentamiento:			- -- -
Diámetro:				Temperatura interpase:			----
				Post calentamiento			
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.5			Fundente:	--	Gas:	---
Calificación AWS:	A5.5			Composición	--	Composición	---
Marca:	Nazca					Vel. Flujo	
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamie nto. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	SMAW	E 7018	1/8"	DC+	100	23	2.6
Detalles de la junta soldada							
Elaborado por:	Gerzon Enriquez y Diego Minaya			Fecha.	23/08/2024		
Revisado por:	Ing. Leonardo Avilés H.			Institución:	UNSAAC		

En la figura 35, se observa la probeta soldada con los parámetros indicados en el WPS.

### **Figura 35**

*Probeta soldada*



De las probetas como la observada en la figura 35, los extremos fueron descartados, pues estos presentan defectos al inicio y final de la soldadura, tal como se observa en la figura 36.

### **Figura 36**

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



## **3.7 Criterio de Aceptación Para Ensayos de Doblado**

La superficie convexa de la probeta del ensayo de doblado deberá ser examinada visualmente para detectar discontinuidades superficiales. El criterio de aceptación establecido indica que la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

- 3 mm, medidos en cualquier dirección sobre la superficie (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).
- 10 mm, como la suma de las mayores dimensiones de todas las discontinuidades mayores que 1 mm, pero menores o iguales que 3 mm (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102).
- 6 mm, la máxima fisura en las esquinas de la probeta plegada, excepto cuando dicha fisura resulte de una inclusión de escoria visible u otro tipo de discontinuidad relacionada con la fusión, en cuyo caso se deberá aplicar un máximo de 3 mm (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 102). Las probetas con fisuras en las esquinas mayores que 6 mm, sin evidencia de inclusiones de escoria u otro tipo de discontinuidades de fusión, deberán ser descartadas y reemplazadas por otras probetas de ensayo correspondientes a la soldadura original de calificación (AASHTO/AWS D1.5M, 2010, pág. 103).

## CONCLUSIONES

**Primera.** Se diseñaron y fabricaron exitosamente los accesorios que se acoplan a una prensa hidráulica, permitiendo realizar el ensayo de doblez en U de manera satisfactoria.

**Segunda.** Tras los cálculos de diseño y aplicando un criterio de seguridad conservador, se determinó que la máquina es apta para ensayar probetas de hasta 10 mm de espesor en el ensayo de doblez en U. Este equipo está compuesto por accesorios adaptados a una prensa hidráulica de 20 toneladas.

**Tercera.** La máquina para el ensayo de doblez en U, desarrollada mediante accesorios fabricados y acoplados a una prensa hidráulica de 20 toneladas, permite ensayar con éxito probetas de tres espesores diferentes, con la facilidad de intercambiar solo el componente denominado cabeza del empujador.

**Cuarta.** Aunque el costo de diseñar la máquina de doblez en U puede ser mayor que el del prototipo, su desarrollo se orientó a garantizar durabilidad y una mayor versatilidad en su aplicación a diversos materiales utilizados en ingeniería.

## RECOMENDACIONES

**Primera.** El equipo debe ser revisado cada 4 meses para garantizar la buena funcionalidad y mantener la fidelidad de los resultados.

**Segunda.** Solo utilizar probetas para las cuales fue diseñado el equipo. Ya que si no se hiciera podría desencadenar desde un mal funcionamiento hasta el deterioro de la máquina.

**Tercera.** Se debe realizar permanente mantenimiento del gato hidráulico usado en el equipo.

## REFERENCIAS

- Aceros Arequipa. (2020). *Catalogo de productos*.
- Alonso, C. (2012). *Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto*. Cano Pina Ceysa.
- ANSI/AWS D1.1. (2000). *Sociedad americana de soldadura. Código para soldadura estructural-acero*.
- Asociación Española de Soldadura Tecnologías de unión CESOL. (17 de Febrero de 2020). *Soldeo Manual Por Arco Con Electrodo Revestido PDF*. Obtenido de es.scribd.com: <https://es.scribd.com/document/447469320/SOLDEO-MANUAL-POR-ARCO-CON-ELECTRODO-REVESTIDO-pdf>
- BFMéxico. . (14 de Febrero de 2022). *Cedulación de parámetros para soldadura*. . Obtenido de bfmex.com: <https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/>
- Echevarria, R. (2002). *Defectologia*. Universidad Nacional de Comahue, Santiago de Chile, Chile.
- Film, R., & Trojan, P. (1979). *Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones*. Bogotá: McGraw-Hill Latinoamericana.
- ISO 5173. (2010). *Destructive Tests on Welds in metallic Materials -Bend Tests*.
- Labrador, B. (21 de Septiembre de 2018). *Proceso de Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAN)*. Obtenido de [www.stargas.com.ve](http://www.stargas.com.ve): <https://www.stargas.com.ve/blog/proceso-de-soldadura-por-arco-electrico-con-electrodo-revestido-smaw/>
- Larry, J. (2009). *Soldadura. Principios y aplicaciones*. Ediciones Paraninfo, S.A. ed. CESOL. doi:[https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura\\_Principios\\_y\\_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura_Principios_y_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir_esc=y)
- Richard G. Budymas, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería mecánica*. Mexico: McGraw Hill.
- Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de elementos de maquina*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Vanegas, L. (2010). *Diseño de elementos de maquina*. Universidad Tecnologica de Pereira.

# ANEXOS



## ASTM E190 Guided Bend Testing for Ductility of Welds



MTS Criterion® & MTS Exceed®  
Electromechanical Universal Test Systems

### TEST METHOD SUMMARY

This standard covers guided bend testing of welds for the determination of reliability and ductility in ferrous and nonferrous products.

The guided bend test is performed by placing a rectangular specimen symmetrically on the support fixture that is mounted to the testing machine. The load is applied to the weldment of the flat specimen at mid-span until the specimen conforms to a U-shape, or until failure occurs. After the bending test is completed, the curved surface of the bend is examined for evidence of a crack or surface irregularities to determine if the material has failed.

Solutions for ASTM E190 guided-bend test typically include these types of components:

### LOAD FRAME OPTIONS\*

MTS offers electromechanical Criterion® and Exceed® universal test systems and dynamic servohydraulic Landmark® test systems that are ideal for performing accurate and repeatable monotonic bend testing of metallic materials per ASTM E190.

MTS Criterion universal testing systems are engineered to support the needs of advanced Research & Development. MTS Exceed universal testing systems are best suited for Quality Control testing by delivering the reliable performance needed to meet the uptime demands of high-volume production environments. Due to the large variety of ferrous and nonferrous metals and specimen dimensions that can be tested per ASTM E190, the required force capacities can differ significantly. MTS offers frame models that address the smaller force requirements of thinner specimens up to high-force requirements for testing thick plate type specimens.

The MTS Criterion and the MTS Exceed universal testing machines range from tabletop to floor-standing electromechanical models with force ratings of up to 600 kN / 135 kip. Many of the models have dual-zone test spaces to reduce set-up times if you frequently change test requirements.

The MTS Landmark dynamic servohydraulic test system with its superior stiffness and alignment capabilities, is an ideal choice if additional fatigue and fracture testing capabilities are required. Systems are available in highly configurable floor-standing and tabletop models with force ratings from 5 kN / 1 kip to 500 kN / 110 kip.

As an alternative to a new load frame, you can replace outdated controls / hydraulics of existing MTS or another manufacturer's electromechanical, servohydraulic or custom test systems, including:

\*\*Instron\*, \*\*Zwick\*, \*\*Tinius Olsen\*\*, \*\*SATEC\*, \*\*Baldwin\* and more with an MTS ReNew™ Upgrade.

\*\*Trademark owned by their respective owners, not affiliated with MTS Systems Corporation.



MTS Landmark®  
Servohydraulic Test Systems



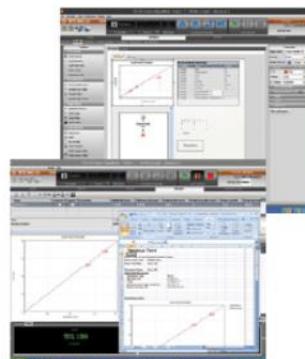
MTS ReNew™  
Upgrade for Hydraulic & Electromechanical Test Systems

FIXTURE OPTIONS\*

Adjustable Guided-Bend Test Fixture	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixture consists of a plunger to be attached to the cross head and an adjustable bearing jig to attach to the bottom of the test machine</li> <li>• Bearing jig can be adjusted and the plunger can be replaced to accommodate test setup requirements for different specimen dimensions</li> </ul>

SOFTWARE & CONSULTING OPTIONS\*

About MTS TestSuite™ TW	ASTM E190 Guided Bend Testing for Ductility of Welds Test Method Template
<p>The efficient MTS TestSuite TW software provides the versatility required to address unique and complex testing requirements.</p> <p><b>twe</b> TestSuite TW Elite includes all the test definition capacity and flexibility test designers need to create and edit custom test sequences while accommodating the specific runtime needs of lab personnel.</p> <p><b>twx</b> TW Express is designed for the test operator and is used to run tests created with TW Elite and can be used without fear of inadvertently modifying the Test Method. This application allows the operator to easily execute even the most complex tests and monitor data or calculated values in runtime views that can be tailored by both test designers and operators.</p>	<p>MTS has developed a generic TestSuite TW test method template that will set-up and run the recommended guided-bend test. The templates can easily be modified to be in compliance with ASTM E190 requirements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crosshead/actuator can be used for displacement measurement and control</li> <li>• Post-test review tab and reports show data in load-displacement plots and highlight values such as angle of bend, maximum load, and more</li> <li>• Raw data can be exported in many formats including CSV and TXT</li> <li>• Test methods, calculations, review displays, and report layouts can be customized by the user</li> </ul>



**MTS Consulting Can Enable LIMS Integration & Other Lab Efficiency Enhancements**

MTS consultants are available to support seamless data integration from your TestSuite test templates to your laboratory information management system (LIMS). Lab Efficiency Enhancements could include:

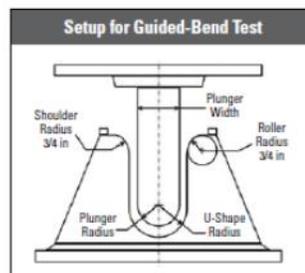
- Integrating bar code scanners, reading data from micrometers and calipers, capturing video via webcam
- Automating the interface of two-way communications between TestSuite and virtually any LIMS system

\*NOTE: This technical note is intended to show some of the more common solutions used for this particular application. Most often, additional options are available and necessary to accomplish more comprehensive test objectives.

APPENDIX - TEST SPECIMEN DETAIL

Commonly rectangular specimens, with a minimum length of 6 inch and different thicknesses, machined from plates and pipes are used for the guided bend testing. Please consult ASTM E190 for more detailed information about the supported specimen geometries for ferrous and nonferrous materials, for transverse side, face and root bend test setups, and for longitudinal face and root bend test setups.

Specimen Thickness in (mm)	Plunger Width in (mm)	Plunger Radius in (mm)	U-Shape Radius in (mm)
3/8 (9.5)	1 1/2 (38)	3/4 (19)	1 3/16 (30)
1/2 (12.7)	2 1/8 (54)	1 1/16 (27)	1 3/16 (30)
t	4t	2t	3t + 3/16 (+ 1.5)

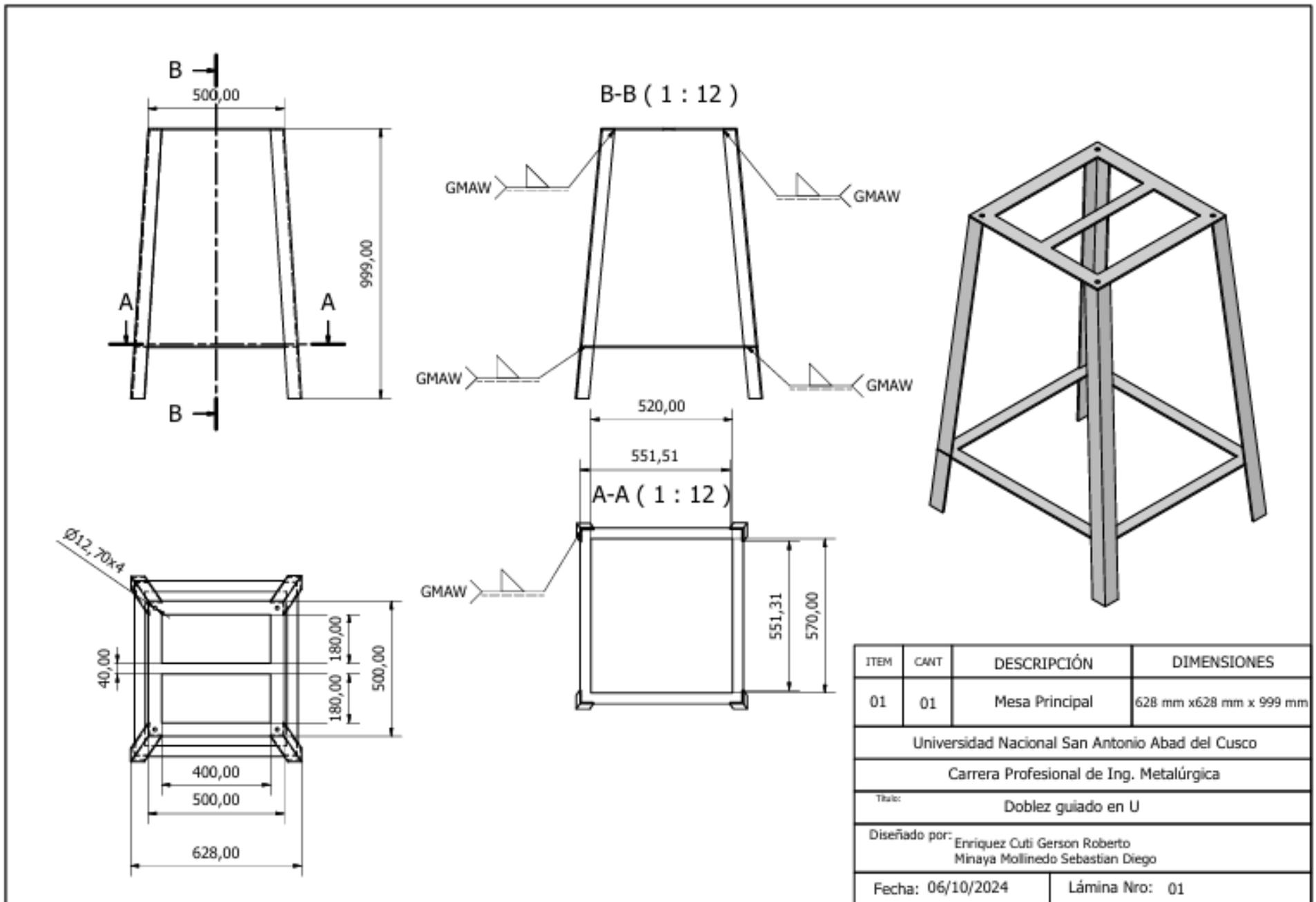


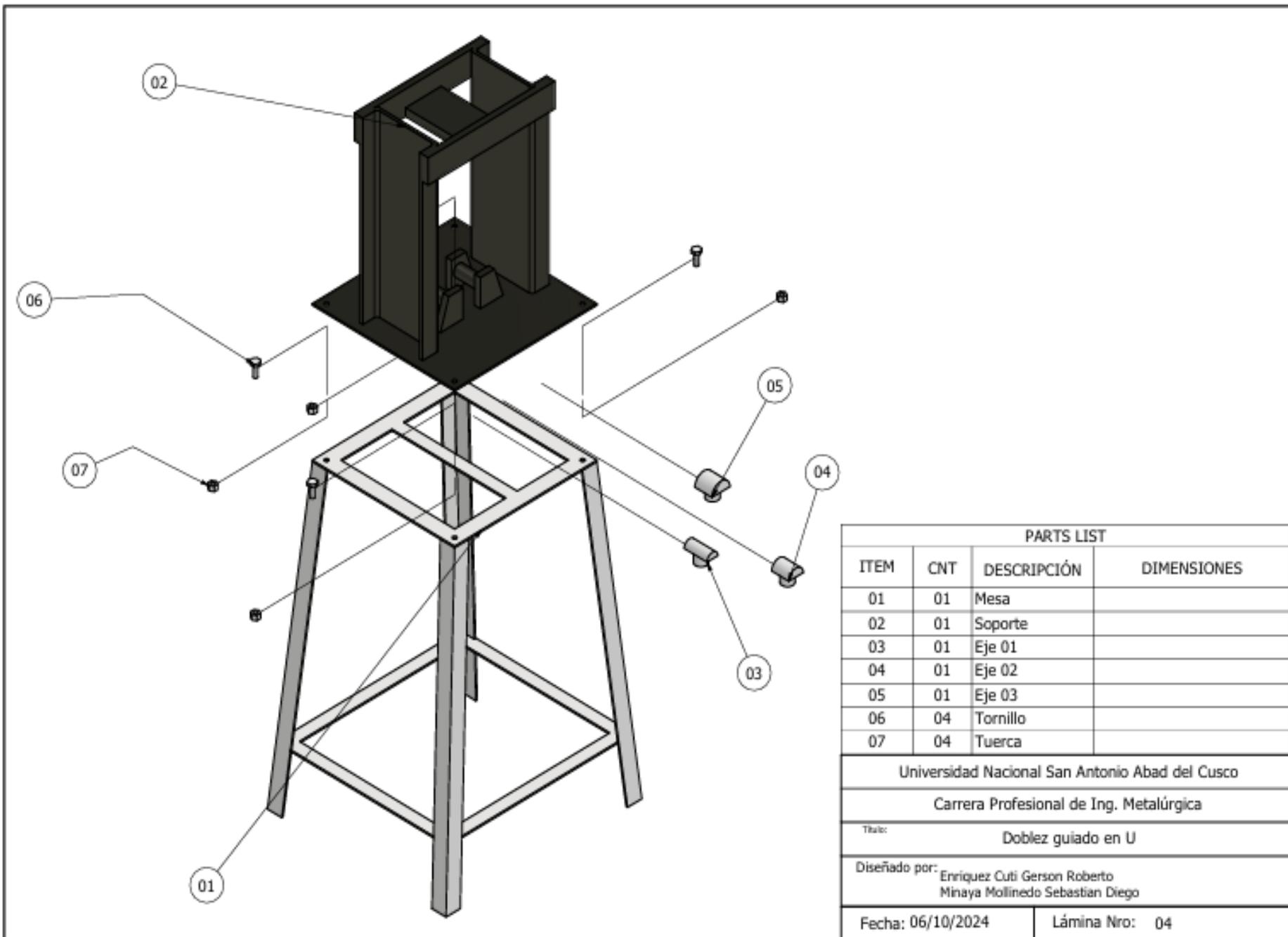
**MTS**  
**MTS Systems Corporation**  
 14000 Technology Drive  
 Eden Prairie, MN 55344-2290 USA  
 Telephone: 1-952-937-4000  
 Toll Free: 1-800-328-2255  
 E-mail: info@mts.com  
 www.mts.com

ISO 9001 Certified OMS

MTS, MTS Criterion, MTS Exceed and MTS Landmark are registered trademarks, and MTS TestSuite, MTS ReNew and MTS Advantage are trademarks of MTS Systems Corporation within the United States. These trademarks may be protected in other countries. RTM No. 211177.

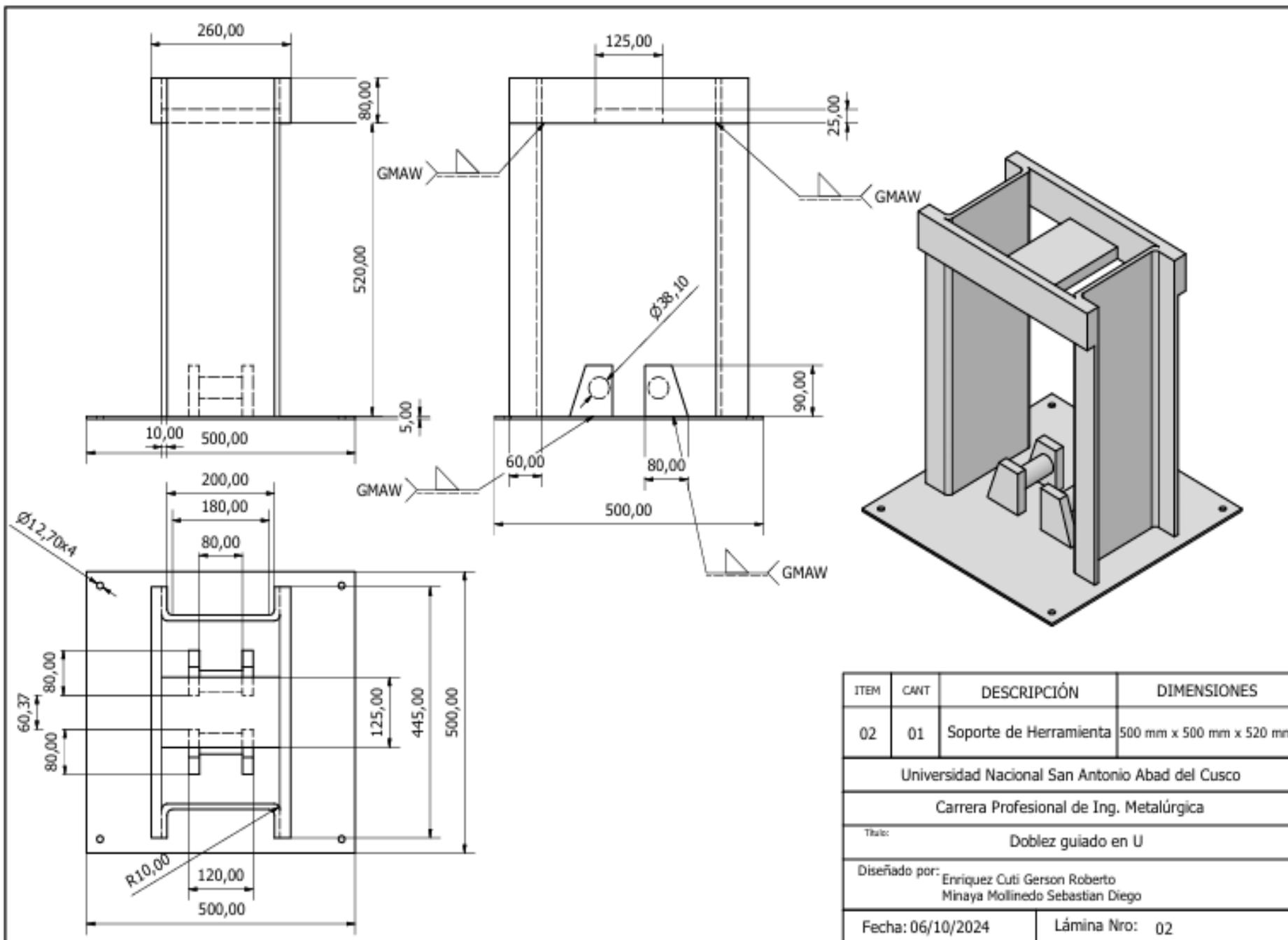
©2023 MTS Systems Corporation  
 100-561-800b ASTM E190 • Printed in U.S.A. • 08/23

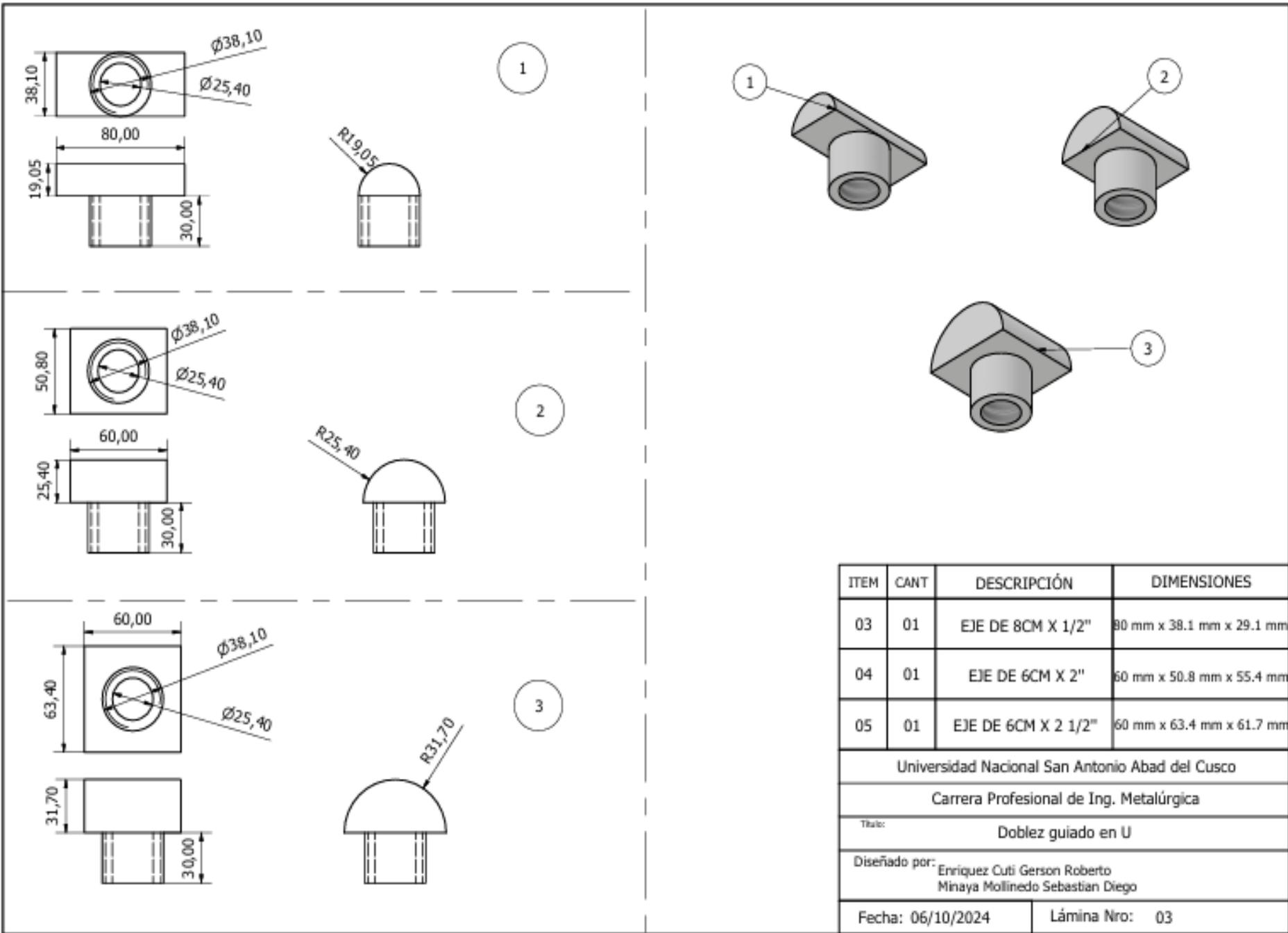




PARTS LIST			
ITEM	CNT	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
01	01	Mesa	
02	01	Soporte	
03	01	Eje 01	
04	01	Eje 02	
05	01	Eje 03	
06	04	Tornillo	
07	04	Tuerca	

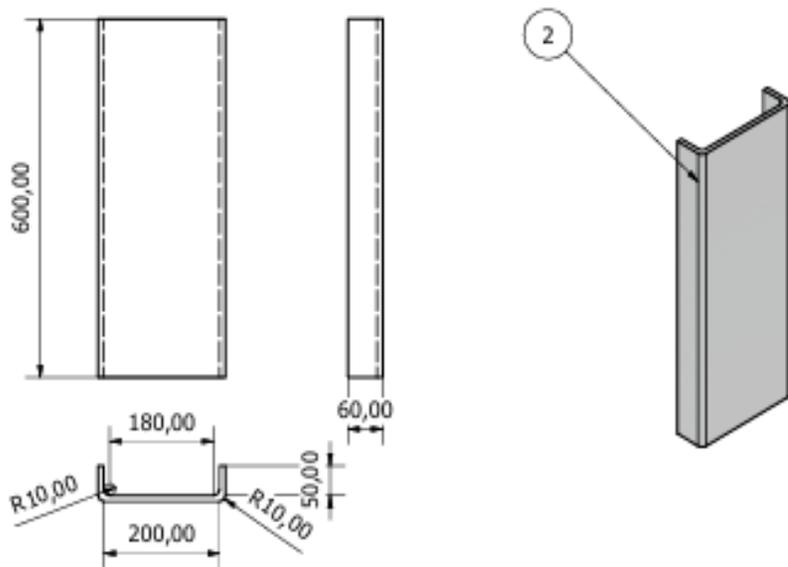
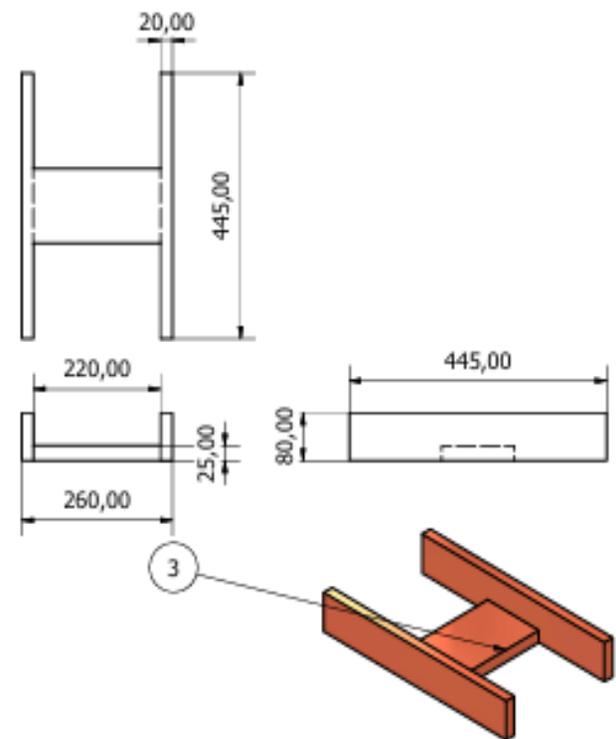
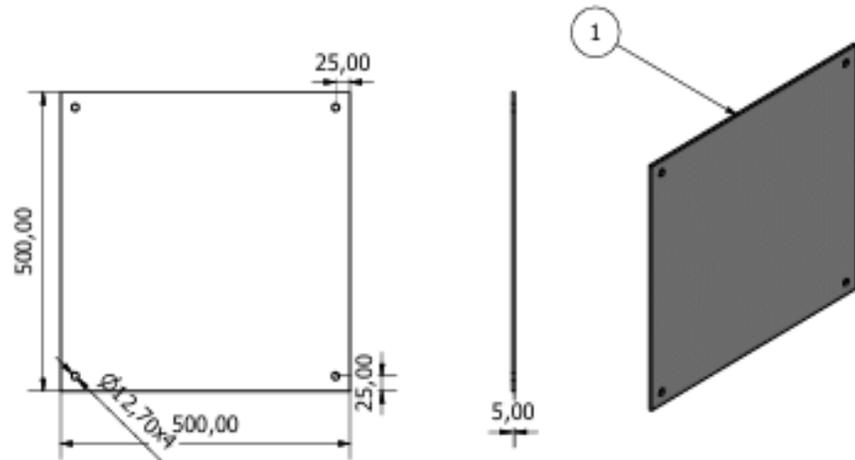
Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	
Carrera Profesional de Ing. Metalúrgica	
Título: Doble z guiado en U	
Diseñado por: Enriquez Cuti Gerson Roberto Minaya Mollinedo Sebastian Diego	
Fecha: 06/10/2024	Lámina Nro: 04





ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
03	01	EJE DE 8CM X 1/2"	80 mm x 38.1 mm x 29.1 mm
04	01	EJE DE 6CM X 2"	60 mm x 50.8 mm x 55.4 mm
05	01	EJE DE 6CM X 2 1/2"	60 mm x 63.4 mm x 61.7 mm

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco	
Carrera Profesional de Ing. Metalúrgica	
Título: Doblez guiado en U	
Diseñado por: Enriquez Cuti Gerson Roberto Minaya Mollinedo Sebastian Diego	
Fecha: 06/10/2024	Lámina Nro: 03



ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
01	01	Base	500 mm x 500 mm x 5 mm
02	02	Soporte Lateral	600 mm x 60 mm x 60 mm
03	01	Soporte Superior	445 mm x 260 mm x 80 mm

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

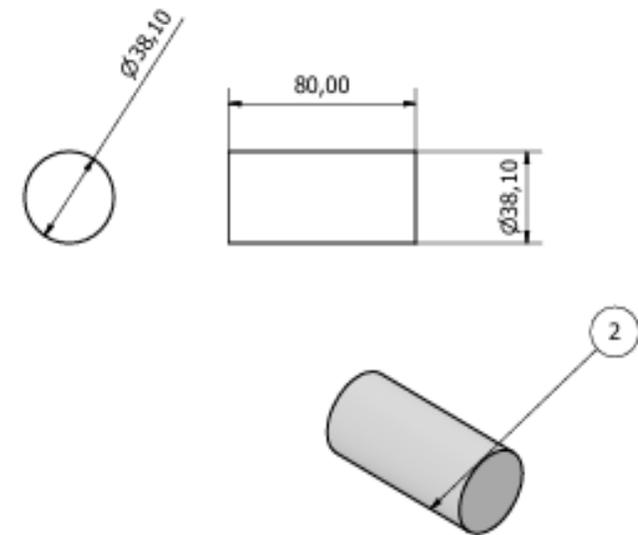
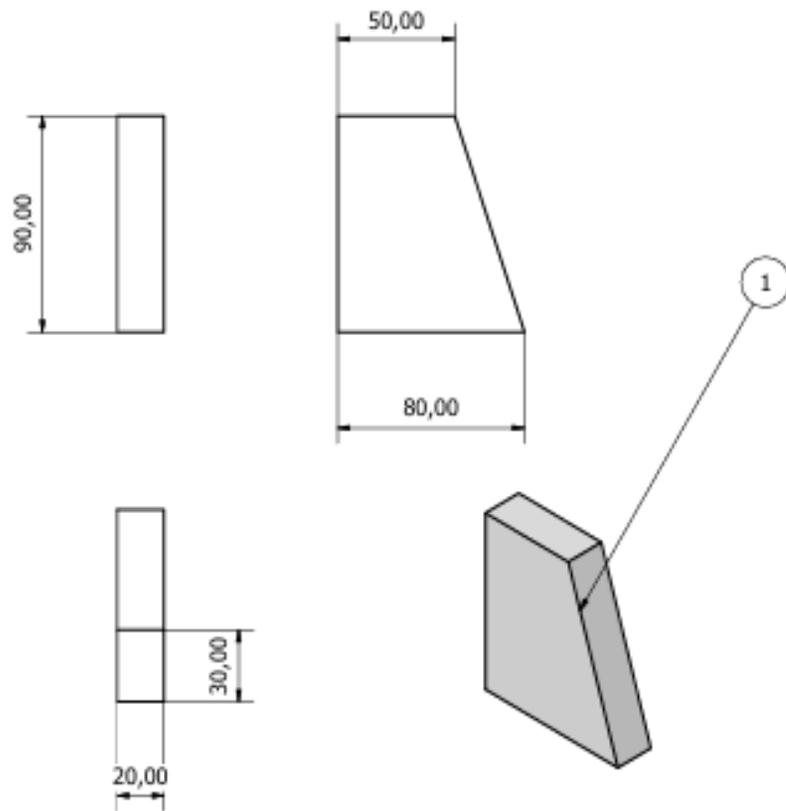
Carrera Profesional de Ing. Metalúrgica

Título: Soporte

Diseñado por: Enriquez Cuti Gerson Roberto  
Minaya Mollinedo Sebastian Diego

Fecha: 06/10/2024

Lámina Nro: 05



ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
01	04	Soporte Inferior	90 mm x 80 mm x 20 mm
02	02	Cilindro	38.1 mm x 38.1 mm x 80 mm

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Carrera Profesional de Ing. Metalúrgica

Título: Soporte Inferior

Diseñado por: Enriquez Cuti Gerson Roberto  
Minaya Mollinedo Sebastian Diego

Fecha: 06/10/2024

Lámina Nro: 06