



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
EVALUACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TRAVÉS DEL ENSAYO DE
DOBLADO SEGÚN LA NORMA AWS D1.1 2015”**

Autor:

Sinmaleza Monar Carlos Andrés

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Cevallos Muñoz Omar Arturo MSc.

Quevedo - Los Ríos – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Carlos Andrés Sinmaleza Monar**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo; puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Carlos Andrés Sinmaleza Monar

C.C.#. 2100657952

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

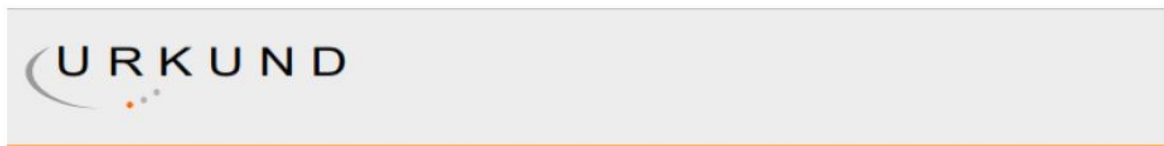
El suscrito, **ING. CEVALLOS MUÑOZ OMAR ARTURO. MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Certifica que el estudiante: **CARLOS ANDRÉS SINMALEZA MONAR**, realizó el Proyecto de Investigación de grado título “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TRAVÉS DEL ENSAYO DE DOBLADO SEGÚN LA NORMA AWS D1.1 2015**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecánico**, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA O PLAGIO ACADÉMICO

Ing. OMAR ARTURO CEVALLOS MUÑOZ, MSc., en calidad de director del Trabajo Final de Grado cuyo tema es: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS A TRAVÉS DEL ENSAYO DE DOBLADO SEGÚN LA NORMA AWS D1.1 2015”**, me permito manifestar a usted que el señor estudiante Sinmaleza Monar Carlos Andres, ha cumplido con las correcciones pertinentes de acuerdo al reglamento establecido por la Defensa de Tesis previo a la obtención de su titulación como Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ciencias de la ingeniería de la UTEQ y he ingresado su trabajo investigativo al sistema URKUND arrojando una simulación de un 7%, por lo que solicito se les permita continuar con el proceso académico para su defensa.



Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Tesis de Grado Final Sinmaleza Carlos.docx (D99867621)
Submitted:	3/26/2021 11:04:00 PM
Submitted By:	ocevallos@uteq.edu.ec
Significance:	7 %

Ing. Omar Arturo Cevallos Muñoz MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“Diseño e implementación de un banco de pruebas para evaluación de juntas
soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015”**

Presento al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Rodger Salazar Loor MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Edison Mancheno Padilla MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Paola Proaño Molina MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Jehová Dios por la vida y salud brindada necesaria para culminar una etapa muy importante de mi vida que es llegar a ser un Ingeniero Mecánico, a mi madre Gladys Monar, a mi padre José Sinmaleza, a mi hermano, a mis hermanas, por su apoyo fundamental en mi vida.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por la oportunidad brindada de cursar mis estudios, al Ing. Omar Cevallos Muñoz tutor de tesis por su asistencia en la realización de este trabajo de investigación, a mis docentes por compartir sus ideas y conocimientos.

Carlos Andrés Sinmaleza Monar

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación y culminación de carrera se lo dedico en primer lugar a Dios por darme la vida y salud, a mis padres Gladys Monar y José Sinmaleza quienes me han brindado su apoyo incondicional, ayudándome a cumplir mi meta de ser un Ingeniero Mecánico. A mis hermanos por su apoyo moral. Por los consejos y apoyándome en los momentos más complicados de mi vida.

Carlos Andrés Sinmaleza Monar

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación tiene como finalidad diseñar y construir un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas, debido a la importancia de la soldadura en diferentes ámbitos en la industria, como las estructuras metálicas, petroleras, alimentos entre otros, por esta razón se debe evaluar la calidad de la soldadura y la habilidad del soldador para garantizar un trabajo que cumpla con las especificaciones requeridas del usuario. Se propuso 3 alternativas de diseño a evaluar mediante el método de ponderación, donde se escogió la mejor opción, la realización de la matriz y émbolo fue acorde a lo establecido por la norma AWS D1.1 2015, el diseño del banco de pruebas fue realizado con el software ingenieril SolidWorks, permitiendo adquirir planos y dimensiones apropiadas para la construcción, como también la realización del análisis de elementos finitos para evaluar sus deformaciones cuando esté sometido a plena carga. Se elaboró un presupuesto para la construcción del banco de pruebas, los materiales se obtuvieron a nivel nacional. También se realizó una guía de prácticas para una ejecución correcta del ensayo.

Palabras claves:

Evaluación, Junta Soldada, Ensayo, Doblado.

ABSTRACT

The purpose of the research Project is to design and build a test bench for evaluation of welded joints, because the importance of welding in different areas in the industry, such as metal structures, oil, food among others, for that reason it is necessary to evaluate the quality of the weld and the welder's skill to ensure a job that meets the specifications required by the user. Three design alternatives were proposed to be evaluated using the weighting method, where the best option was chosen, the realization of the die and plunger was in accordance with the provisions of the AWS D1.1 2015 standard, the design of the test bench was performed with SolidWorks engineering software, allowing the acquisition of plans and appropriate dimensions for the construction, as well as the realization of the finite element analysis to evaluate its deformations when subjected to full load. A budget was prepared for the construction of the test bench, the materials were obtained nationally. A practice guide was also prepared for the correct execution of the test.

Key words:

Evaluation, Welding joint, Testing, Bending.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA O PLAGIO ACADÉMICO	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xix
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xxi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Justificación.....	7
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8

2.1.	Marco conceptual.....	9
2.1.1.	Diseño mecánico.....	9
2.1.2.	Simulación.....	9
2.1.3.	SolidWorks.....	9
2.1.4.	Propiedades mecánicas de materiales.....	9
2.1.5.	Soldabilidad.....	10
2.1.6.	Soldadura.....	10
2.1.7.	Código AWS D1.1/D1.1M: 2015, Código de soldadura estructural.....	13
2.1.8.	Ensayo de doblado.....	13
2.2.	Marco referencial.....	13
2.2.1.	Diseño en Ingeniería Mecánica.....	13
2.2.2.	Simulación por software.....	15
2.2.3.	Propiedades mecánicas de los materiales.....	15
2.2.4.	Tipos de prensas.....	18
2.2.5.	Protección personal.....	19
2.2.6.	Ensayo en soldadura.....	20
2.2.7.	Ensayo de resistencia al doblado.....	21
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		24
3.1.	Localización.....	25
3.2.	Tipos de investigación.....	26
3.2.1.	Investigación descriptiva.....	26
3.2.2.	Investigación documental.....	26
3.3.	Metodología de la investigación.....	26
3.3.1.	Analítico.....	26
3.3.2.	Método bibliográfico.....	26
3.4.	Fuentes de recopilación de información.....	27
3.5.	Diseño de la investigación.....	27

3.6.	Recursos humanos y materiales.....	28
3.6.1.	Recurso humano.....	28
3.6.2.	Recursos materiales.....	28
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		29
4.1.	Selección.....	30
4.1.1.	Selección de la prensa adecuada.....	30
4.1.2.	Evaluación de cada criterio.....	35
4.1.3.	Conclusión de método de residuos ponderados.....	38
4.2.	Diseño.....	38
4.2.1.	Análisis de la junta soldadas.....	39
4.2.2.	Diseño de la probeta para ensayo de doblado.....	40
4.2.3.	Análisis de carga a realizar para el doblado.....	41
4.2.4.	Selección de gato hidráulico.....	42
4.2.5.	Diseño de la estructura.....	44
4.2.6.	Placa base.....	55
4.2.7.	Aspectos importantes del banco de pruebas.....	56
4.2.8.	Análisis.....	58
4.3.	Construir el banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015.....	71
4.3.1.	Árbol de estructura del banco de pruebas.....	76
4.3.2.	Proceso de construcción del banco de pruebas.....	76
4.4.	Ejecución de prueba de funcionalidad	81
4.5.	Elaboración del proceso para la realización de la práctica de laboratorio del ensayo de doblado conforme a la norma AWS D1.1 y creación de la guía de práctica.....	84
4.6.	Presupuesto referencial.....	90
4.6.1.	Costo de los materiales.....	90
4.6.2.	Costos de elementos mecánicos	91
4.6.3.	Costos de elementos varios.....	92

4.6.4.	Costo de las probetas.	92
4.6.5.	Costo de la mano de obra.	93
4.6.6.	Costo de ingeniería y diseño.....	93
4.6.7.	Presupuesto final.	93
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		95
5.1.	Conclusiones.....	96
5.2.	Recomendaciones.	98
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA		99
6.1.	Bibliografía.	100
CAPÍTULO VII ANEXOS.....		105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales categorías de las consideraciones de diseño.	15
Tabla 2. Ubicación geográfica.	25
Tabla 3 Materiales tecnológicos.	28
Tabla 4. Exigencia de Software.	28
Tabla 5. Valores para criterios de ponderación.	34
Tabla 6. Evaluación de los criterios.	35
Tabla 7. Capacidad de prensado.	35
Tabla 8. Prensado del material.	36
Tabla 9. Costos aceptables.	37
Tabla 10. Accesibilidad de los materiales.	37
Tabla 11. Tabla de criterios.	38
Tabla 12. Especificaciones del ancho de la probeta.	41
Tabla 13. Cargas originadas	45
Tabla 14. Esfuerzo Permisibles de columnas ($F_y = 36$ ksi).	50
Tabla 15. Aspectos importantes del banco de pruebas.	56
Tabla 16. Materiales para construcción de la estructura.	71
Tabla 17. Materiales para matriz-émbolo y complementos.	72
Tabla 18. Materiales para prueba de ensayo.	72
Tabla 19. Equipos utilizados para la construcción de la máquina.	72
Tabla 20. Costo de los materiales.	90
Tabla 21. Costos de elementos mecánicos.	91
Tabla 22. Costos de elementos varios.	92
Tabla 23. Costo de las probetas.	92
Tabla 24. Costo de la mano de obra.	93
Tabla 25. Costo de ingeniería y diseño.	93
Tabla 26. Presupuesto final.	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipo de unión.	11
Ilustración 2. Proceso de soldadura SMAW	12
Ilustración 3. Proceso de soldadura GMAW.	12
Ilustración 4. Fases del proceso de diseño.	14
Ilustración 5. Diagrama de esfuerzo-deformación para algunos materiales.	16
Ilustración 6. Comportamiento de las curvas de tracción de tres materiales con diferente fuerza, ductilidad, y tenacidad.	18
Ilustración 7. Plantilla guía para ensayo de doblado guiado.	22
Ilustración 8. Probeta de doblado cara y raíz.	23
Ilustración 9. Probetas de doblado lateral.	23
Ilustración 10. Ubicación geográfica de la UTEQ.	25
Ilustración 11. Diseño del Banco de pruebas.	27
Ilustración 12. Prensa mecánica.	30
Ilustración 13. Prensa neumática.	31
Ilustración 14. Prensa Hidráulica.	33
Ilustración 15. Plantilla guía para ensayo de doblado guiado.	39
Ilustración 16. Especificaciones de la soldadura a tope de canal cuadrada.	40
Ilustración 17. Probeta para ensayo de doblado cara-raíz.	41
Ilustración 18. Gata hidráulica.	43
Ilustración 19. Gato de botella código 141816.	44
Ilustración 20. Partes de un banco de pruebas para ensayo de doblado según la norma AWS D1.1:2015	45
Ilustración 21 Estructura.	46
Ilustración 22. Diagrama de momentos.	47
Ilustración 23. Tubo cuadrado.	49
Ilustración 24. Longitud efectiva de las columnas.	50
Ilustración 25. Selección del material M201.	58
Ilustración 26. Selección del material ASTM A36.	59
Ilustración 27. Activación de complemento.	59
Ilustración 28. Análisis estático.	60
Ilustración 29. Aplicación de sujeción.	61

Ilustración 30.	Aplicación de fuerzas.....	61
Ilustración 31.	Mallado del conjunto.	62
Ilustración 32.	Análisis Estático de Tensiones del conjunto.....	63
Ilustración 33.	Análisis de deformación.	64
Ilustración 34.	Configuración del conjunto.	65
Ilustración 35.	Análisis de caída de tensiones del conjunto.....	66
Ilustración 36.	Modelado geométrico de la estructura.	66
Ilustración 37.	Elección de análisis estático para estructura.	67
Ilustración 38.	Ubicación de condiciones de contorno de la estructura.....	67
Ilustración 39.	Control de mallado.....	68
Ilustración 40.	Mallado de estructura.....	68
Ilustración 41.	Análisis de Tensiones de la Estructura.	69
Ilustración 42.	Análisis de Desplazamiento de la Estructura.	70
Ilustración 43.	Análisis de Deformación Unitaria de la Estructura.	70
Ilustración 44.	Análisis de Factor de Seguridad de la Estructura.	71
Ilustración 45.	Estructura del banco de pruebas.	73
Ilustración 46.	Mecanizado de la Matriz.....	74
Ilustración 47.	Mecanizado del émbolo.	74
Ilustración 48.	Armado del Mecanismo de soporte de la matriz.	75
Ilustración 49.	Banco de pruebas.	75
Ilustración 50.	Árbol de estructura.....	76
Ilustración 51.	Diagrama de proceso de la estructura.	76
Ilustración 52.	Diagrama de proceso de la matriz.....	77
Ilustración 53.	Diagrama de proceso del émbolo.....	78
Ilustración 54.	Diagrama de proceso del mecanismo guía.	79
Ilustración 55.	Ensamble completo del banco de pruebas.	80
Ilustración 56.	Elaboración del cordón de soldadura.	81
Ilustración 57.	Cupón de soldadura.....	81
Ilustración 58.	Trazado para la obtención de las probetas.	82
Ilustración 59.	Ensayo de la probeta parte inicial.	82
Ilustración 60.	Ensayo de la probeta parte intermedia.	83
Ilustración 61.	Ensayo de la probeta parte final.....	83
Ilustración 62.	Resultado final.	84

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Abertura de raíz	40
Ecuación 2. Fuerza necesaria para doblar	42
Ecuación 3. Fuerza de diseño.....	42
Ecuación 4. Esfuerzo permisible	48
Ecuación 5. Módulo de sección.....	48
Ecuación 6. Área de sección	51
Ecuación 7. Constante de Columnas.....	52
Ecuación 8. Relación de Esbeltez.....	52
Ecuación 9. Comparación de relación de esbeltez y Constante de columna	53
Ecuación 10. Carga permisible	53
Ecuación 11. Carga Calculada	54
Ecuación 12. Comparación de carga calculada y carga requerida.	54
Ecuación 13 Momento máximo.....	55
Ecuación 14. Espesor de la placa.	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Adquisición del material para la construcción del banco de pruebas.....	106
Anexo 2. Soldadura de los marcos de la estructura.....	106
Anexo 3. Estructura.....	107
Anexo 4. Mecanismo de sujeción de la matriz y émbolo.....	107
Anexo 5. Mecanizado de la matriz.....	108
Anexo 6. Matriz mecanizada.....	108
Anexo 7. Émbolo mecanizado.	109
Anexo 8. Montaje de la matriz, émbolo y mecanismos.	109
Anexo 9. Banco de pruebas.....	110
Anexo 10. Realización del cordón de soldadura para la elaboración de las probetas.	110
Anexo 11. Cupón de soldadura.	111
Anexo 12. Elevación de la matriz hasta el émbolo.	111
Anexo 13. Doblado de la probeta parte 1.....	112
Anexo 14. Doblado de la probeta parte 2.....	112
Anexo 15. Doblado de la probeta parte 3.....	113
Anexo 16. Probeta ensayada.	113
Anexo 17. Calificación de la WPS.....	114
Anexo 18. Ubicación de probetas en placa de ensayo soldadas 3/8 pulg [10 mm] y menos espesor – Calificación de WPS.....	114
Anexo 19. Material base aprobados para WPS precalificadas.....	115
Anexo 20. Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada.	116
Anexo 21. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).....	117
Anexo 22. Calificación de desempeño del soldador.	118

CÓDIGO DUBLÍN

Título	Diseño e implementación de un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015.			
Autor	Sinmaleza Monar Carlos Andrés			
Palabras claves	Evaluación	Junta Soldada	Ensayo	Doblado
F. publicación				
Editorial	Quevedo: UTEQ, 2021			
Resumen:	Resumen. - El proyecto de investigación tiene como finalidad diseñar y construir un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas, debido a la importancia de la soldadura en diferentes ámbitos en la industria, como las estructuras metálicas, petroleras, alimentos entre otros, por esta razón se debe evaluar la calidad de la soldadura y la habilidad del soldador para garantizar un trabajo que cumpla con las especificaciones requeridas del usuario. Se propuso 3 alternativas de diseño a evaluar mediante el método de ponderación, donde se escogió la mejor opción, la realización de la matriz y émbolo fue acorde a lo establecido por la norma AWS D1.1 2015, el diseño del banco de pruebas fue realizado con el software ingenieril SolidWorks, permitiendo adquirir planos y dimensiones apropiadas para la construcción, como también la realización del análisis de elementos finitos para evaluar sus deformaciones cuando esté sometido a plena carga. Se elaboró un presupuesto para la construcción del banco de pruebas, los materiales se obtuvieron a nivel nacional. También se realizó una guía de prácticas para una ejecución correcta del ensayo. Abstract. - The purpose of the research Project is to design and build a test bench for evaluation of welded joints, because the importance of welding in different areas in the industry, such as metal structures, oil, food among others, for that reason it is			

	necessary to evaluate the quality of the weld and the welder's skill to ensure a job that meets the specifications required by the user. Three design alternatives were proposed to be evaluated using the weighting method, where the best option was chosen, the realization of the die and plunger was in accordance with the provisions of the AWS D1.1 2015 standard, the design of the test bench was performed with SolidWorks engineering software, allowing the acquisition of plans and appropriate dimensions for the construction, as well as the realization of the finite element analysis to evaluate its deformations when subjected to full load. A budget was prepared for the construction of the test bench, the materials were obtained nationally. A practice guide was also prepared for the correct execution of the test.
Descripción	140 hojas: Dimensiones 290 x 210 mm: CD-ROM
URI	

GLOSARIO DE TÉRMINOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
R	Abertura de raíz
T_1	Espesor del material base
F	Fuerza necesaria para doblar
k	Coeficiente experimental (para doblado de acero)
Σ	Resistencia a la tracción
t	Espesor del material
w	Ancho del doblado
F_D	Fuerza de diseño
C	Capacidad de carga
F_b	Esfuerzo permisible
F_y	Límite de fluencia
FDS	Factor de seguridad
S_x	Módulo de sección
M	Momento
A	Área de sección
P	Carga aplicada
F_a	Esfuerzo permisible de columnas
C_c	Constante de columnas

E	Módulo de elasticidad
K	Factor de longitud efectiva
L	Longitud
r	Radio de giro
B	Ancho de la placa
t_p	Espesor de la placa

1. INTRODUCCIÓN

La soldadura por arco fue uno de los primeros procesos en desarrollarse alrededor del siglo XIX, el cual no proporcionaba una unión satisfactoria por ende se plantearon la invención de nuevos procesos de soldadura, sin embargo aún se presentaban discontinuidades en el cordón de la soldadura, razón para la cual se crearon estándares de calidad, los cuales redactaron ciertos criterios de aceptación para que las juntas soldadas que presenten discontinuidades se comporten de una forma adecuada sin afectar sus propiedades mecánicas y se constituyan dentro de los límites de lo admisible. Algunos de los criterios para la aceptación propuestos en los estándares se basan en “criterios empíricos” y otros se basan en ensayos realizados a probetas.

En el transcurso de los años la soldadura se ha desarrollado y está presente en diferentes ramas de la industria, tales como estructuras metálicas, petroleras, alimentos, entre otros. La soldadura es un proceso importante porque permite la unión de dos o más piezas y por ende deben ser evaluadas, existen normas internacionales como AWS D1.1 que se utilizan para garantizar la calidad de la junta soldada, a través de diversos procedimientos de soldadura específicos (WPS), y el ensayo de doblado es un requerimiento solicitado por la AWS D1.1 para la aprobación de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores y operadores.

El presente trabajo de investigación se enfoca en integrar los conceptos teóricos establecidos en la norma AWS D1.1 sobre el ensayo de doblado para juntas soldadas, este ensayo busca evaluar aspectos de la soldadura como la ductilidad, debido a esto se propone el diseño e implementación de un banco de pruebas, donde se inicia presentando la problemática, se fundamenta teóricamente con conceptos básicos y a la vez por medio de la norma AWS D1.1. Se evaluaron las condiciones para elaborar el banco de pruebas donde se inició seleccionando la mejor alternativa, posteriormente se realizan cálculos y diseño empleados para el modelado, una vez concretado se procedió a la fase de pruebas del funcionamiento del equipo y elaboración de guía de práctica para que los estudiantes realicen un adecuado ensayo de doblado.

El objetivo del ensayo de doblado es verificar la capacidad de una aleación para ser doblada, a una fuerza constante para determinar su ductilidad, la norma AWS D1.1 sugiere criterios

de aceptación para la realización del ensayo, a través de estas pruebas se puede realizar las (WPS) procedimiento de soldadura específicos, clasificación de habilidad del soldador.

La Norma AWS D1.1 proporciona el formato para el procedimiento de soldadura específico, donde se anotará todos los datos obtenidos durante las pruebas y así mismo con la calificación de la habilidad del soldador.

Con los datos obtenidos se determinará si el procedimiento de soldadura específico es el más adecuado, y si la habilidad del soldador cumple con los requerimientos de la norma AWS D1.1 2015.

Con la construcción del banco de pruebas se busca preparar a los estudiantes, para el mundo laboral, conociendo códigos internacionales utilizados para la aprobación de un procedimiento de soldadura específico (WPS), calificación de habilidad del soldador y operador, importantes para la industria metalmecánica. El diseño es propio y la implementación del banco de pruebas es la mejor manera de preparar a los futuros profesionales.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Actualmente la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, no dispone de equipos didácticos en el laboratorio de mecánica, que permitan realizar ensayos de doblado necesario para la aprobación de procedimientos de soldadura y calificación de habilidad del soldador, por consiguiente, los estudiantes optan en realizar las prácticas en otras instituciones y con una limitada cantidad de ensayos.

Es importante obtener equipos de laboratorios que permitan a los estudiantes la oportunidad de entender y evaluar los aspectos básicos y conceptos teóricos obtenidos durante el transcurso del aprendizaje en las asignaturas relacionadas a estas áreas del conocimiento como lo son: (Principio y construcción de soldadura, Taller Mecánico y Ensayos no destructivos).

El presente trabajo plantea el diseño e implementación de un banco de pruebas para la evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015, para ensayos de soldadura, también proporcionar una guía de práctica la cual describa el proceso para realizar el ensayo de doblado, y los criterios de aceptación para las juntas soldadas acorde a la norma AWS D1.1 2015.

Diagnóstico.

En la actualidad la Universidad Técnica Estatal de Quevedo no posee equipos de ensayo de doblado para la evaluación de juntas soldadas, ocasionando la necesidad de recurrir a otras instituciones para realizar estos ensayos, que en muchos de los casos son muy costosos y, tampoco se posee guías de laboratorio para complementar la fundamentación teórica.

Pronóstico.

La falta de un equipo de ensayo de soldadura produce deficiencia en el estudio práctico que busque la evaluación de juntas soldadas, debido a esto se recurre a laboratorios de otras

instituciones del país, originando gastos en pruebas a los estudiantes ocasionándoles dificultad en costear este tipo de prácticas de laboratorio.

1.1.2. Formulación del problema.

¿De qué forma se construirá el banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas, destinado para la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo?

1.1.3. Sistematización del problema.

La presente investigación se resalta el diseño e implementación, cálculo y selección de materiales para un equipo capaz de realizar ensayo de doblado para la evaluación de juntas soldadas, beneficiando a la institución por lo que se propone las siguientes incógnitas:

- ✓ ¿Cuál es el proceso de diseño y forma más idónea para elaborar un banco de ensayos?
- ✓ ¿Cuál es el proceso de construcción del banco de ensayos?
- ✓ ¿De qué material será hecho el banco de ensayos?
- ✓ ¿Qué norma es idónea para el ensayo de doblado en juntas soldadas?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- ✓ Diseñar e implementar un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015.

1.2.2. Objetivos específicos.

- ✓ Diseñar el banco de pruebas en Software SolidWorks.
- ✓ Escoger el material adecuado para la construcción del banco de pruebas.
- ✓ Construir el banco de pruebas para ensayos de doblado.
- ✓ Elaborar guía de práctica para la evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado.
- ✓ Determinar los costos de fabricación del banco de pruebas.

1.3. Justificación.

La construcción de un banco de pruebas para ensayos de soldadura donde se ejecute y permita realizar prácticas, redundará en beneficios al estudiante de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, haciendo más eficiente el proceso enseñanza-aprendizaje, así como también mejorar la infraestructura de herramientas computacionales para el laboratorio de ingeniería Mecánica.

El actual proyecto de investigación se justifica por su grado de importancia, permitiendo al estudiante la interacción con los estándares de calidad requeridos internacionalmente en procesos metalmecánicos y ensayos que son requisitos exigidos por códigos de soldadura para certificar su cumplimiento. Mediante este equipo se podrá evaluar y analizar la calidad de la soldadura, aportando una mejora a las necesidades de la industria manufacturera local y nacional, y proporcionando a los docentes una herramienta de enseñanza factible y de fácil ejecución.

El empleo de un software de diseño paramétrico 3D en Ingeniería Mecánica, como el SolidWorks permite elaborar o construir de manera virtual situaciones en que las posibles fallas de nuevos productos puedan ser evitadas, asegurando de esta manera que estos se fabriquen conforme a estándares que garanticen la calidad de los mismos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Diseño mecánico.

El diseño consiste en establecer un proceso para satisfacer una necesidad o resolver una dificultad. Si el plan de diseño deriva en la creación en manera física, este debe cumplir las siguientes condiciones: ser funcional, seguro, confiable, útil, competitivo, que se pueda fabricar y comercializar. Las habilidades y destrezas personales de un diseñador para resolver problemas están estrechamente relacionadas con su conocimiento [1].

2.1.2. Simulación.

Es el diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso que se aplica en diferentes campos de la Ingeniería e industrias, para conducir experimentalmente con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema del mundo real o evaluar varias estrategias con los cuales pueden operar el sistema [2].

2.1.3. SolidWorks.

El Software CAD “Diseño Asistido por Computadora” SolidWorks es una aplicación de automatización de diseño mecánico que les permite a los diseñadores croquizar las ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelados y dibujos detallados [3]. Ofrece soluciones intuitivas para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño [4].

2.1.4. Propiedades mecánicas de materiales.

Un material tiene diferentes propiedades, es usual diferenciar entre propiedades mecánicas, físicas, químicas y, en ocasiones tecnológicas. Las propiedades mecánicas son aquellas propiedades inherentes a un material relacionadas con la reacción del mismo en el momento en que se le aplica una fuerza. Describen la forma en la que el material soporta las fuerzas, pudiendo ser estas a tracción, compresión, flexión, torsión, impacto [5].

2.1.5. Soldabilidad.

Es la facilidad con que un metal se puede conformar por soldadura de sus partes, así como la habilidad de la unión soldada para resistir las condiciones de servicio. En la práctica se distinguen varios tipos de soldabilidad. Existe la soldabilidad operatoria, la soldabilidad metalúrgica y la soldabilidad constructiva [6].

2.1.6. Soldadura.

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas mediante la aplicación conveniente de calor o presión, muchos procesos de soldadura se obtienen solamente por calor, sin aplicar presión; otros mediante una combinación de calor y presión; y otros más, únicamente por presión, sin suministrar calor externo, en algunos procesos de soldadura se agrega un material de relleno para facilitar la fusión [7].

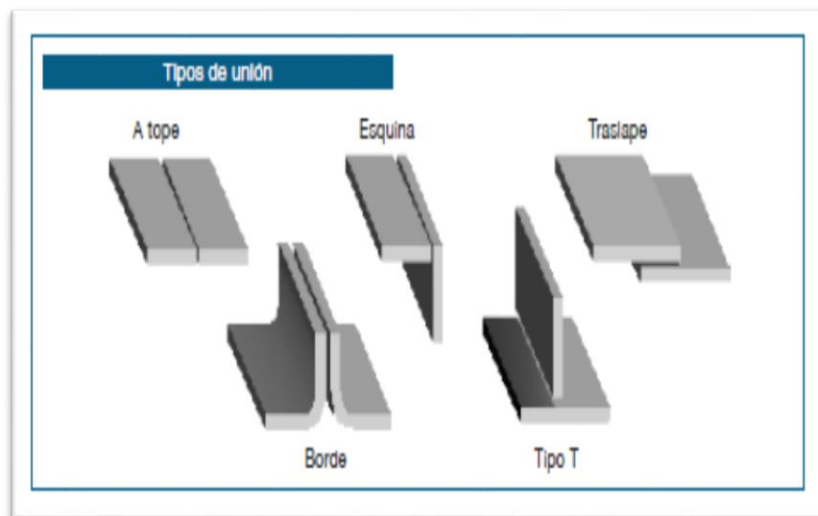
2.1.6.1. Tipo de juntas soldadas.

En soldadura, la manera de cómo están colocadas las piezas a unir se denomina tipos de juntas de unión o juntas de soldadura, existen cinco tipos de uniones básicas [8]:

- ✓ **Unión a tope:** Este tipo unión es usada en todos los procesos de soldadura, puesto que cuando se sueldan producen un bajo índice de tensiones y deformaciones. Por lo general son usadas en la construcción de chapas metálicas [9].
- ✓ **Unión en T:** Este tipo de unión o junta consiste en unir dos chapas situadas en distinto plano bien ortogonales o superpuestas, para rellenar los bordes de las placas creadas mediante uniones de esquina, sobrepuestas y en T. se utiliza un metal de relleno para proporcionar una sección transversal de aproximadamente la forma de un triángulo [10].
- ✓ **Unión en traslape:** La unión de traslape son aplicables rectas o con chaflanes biseladas. Estas uniones forman entre sí un ángulo aproximadamente recto en una unión a traslape [11].

- ✓ **Unión en ángulo o esquina:** Forma parte de las uniones de esquina que vimos, ya que se posicionan en diferentes ángulos, y precisamente por esas uniones, se sueldan los bordes. Regularmente se utilizan para aquellas piezas que serán sometidas a algún tipo de presión [12].
- ✓ **Unión en borde:** Es la unión entre bordes de dos o más miembros paralelos o cercanamente paralelos [13].

Ilustración 1. Tipo de unión.

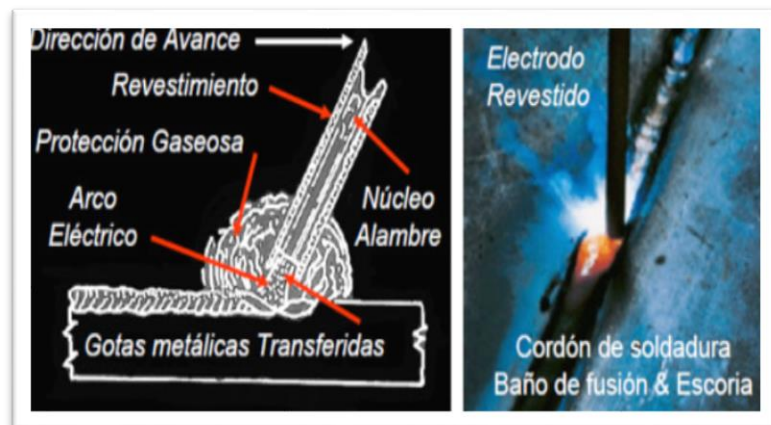


FUENTE: INDURA S.A.

2.1.6.2. Proceso de soldadura SMAW.

El proceso de soldadura SMAW “Shield Metal Arc Welding” “Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido” es uno de los procesos de soldadura más conocidos debido a que se utilizan electrodo revestido. El arco eléctrico genera una temperatura cercana a 3500°C en la parte externa del electrodo, necesario para fundir todo tipo metal base. El calor mezcla el metal base y el electrodo revestido, de esta manera se forma un baño de fusión, con el tiempo que recorre el electrodo por la junta este se va solidificando. El objetivo del revestimiento es la protección del metal a través de la generación de gas de la escoria, suministra desoxidante, así como elementos de aleación [14].

Ilustración 2. Proceso de soldadura SMAW

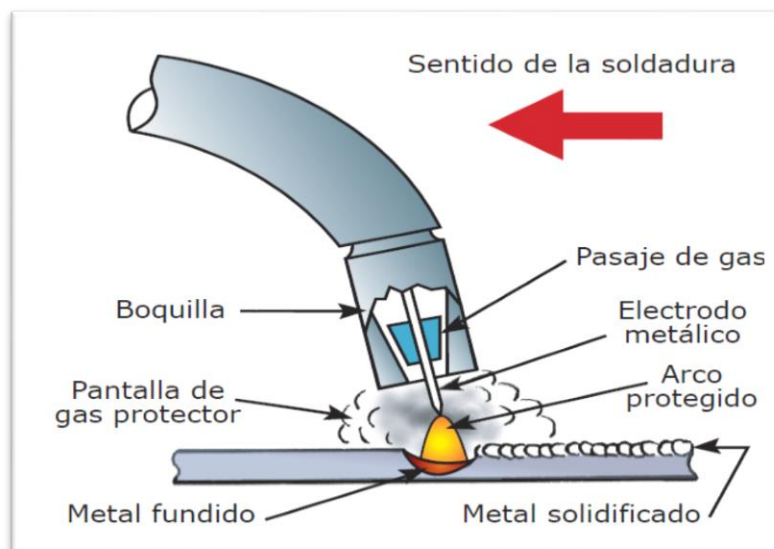


FUENTE: DIPAC.

2.1.6.3. Proceso de soldadura GMAW

El proceso de soldadura GMAW “Gas Metal Arc Welding” “Soldadura por arco metálico con gas”, es un proceso de electrodo consumible semiautomático es conveniente para la soldadura manual, mecanizada y robótica. La máquina genera un arco de bajo voltaje y una alta intensidad entre el extremo del hilo el cual funciona como electrodo y la pieza a soldar genera calor suficiente para el proceso de soldadura [15].

Ilustración 3. Proceso de soldadura GMAW.



FUENTE: MANUAL DE SOLDADURA.

AUTOR: PEDRO CLAUDIO RODRÍGUEZ.

2.1.7. Código AWS D1.1/D1.1M: 2015, Código de soldadura estructural.

Las normas de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) tienen consenso voluntario creado a través las reglas del Instituto Nacional Estadounidense de Normalización (ANSI). El código AWS D1.1 2015 envuelve las exigencias para fabricar y ensamblar estructuras de acero soldadas, también comprende las exigencias para el diseño de juntas soldadas compuestas de miembros tubulares o no tubulares. También cuenta con secciones como precalificación de las WPS “Especificaciones de calificación de soldadura”, calificación e inspección entre otras [16].

2.1.8. Ensayo de doblado.

El ensayo de doblado se aplica en frío o en caliente para chapas y cintas hasta de 30 mm de espesor, con objetivo de determinar la capacidad del metal de soporte el doblado hasta un ángulo requerido, hasta que los dos planos sean paralelos, o hasta la coincidencia de las dos caras. Después de pasar el ensayo las probetas no han de tener grietas [17].

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Diseño en Ingeniería Mecánica.

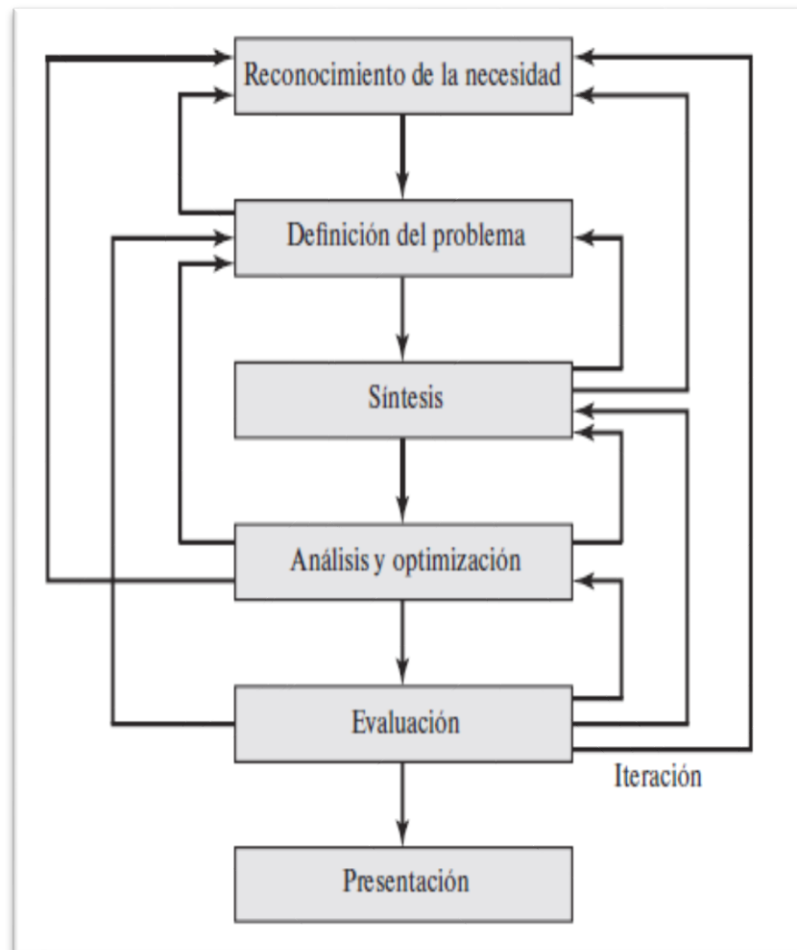
En la actualidad el diseño en ingeniería es una ciencia aplicada porque se ocupa de comprender los principios científicos para aplicarlos y alcanzar una meta establecida. El diseño de elementos de máquinas es una rama muy importante de la ingeniería, se ocupa de la concepción, diseño, desarrollo, refinamiento y aplicación de máquinas y aparatos mecánicos todas clases [18].

2.2.1.1. Fases e interacciones del proceso de diseño.

- ✓ Identificar la necesidad que se desea solucionar.
- ✓ Definir el problema que se manifiesta de una necesidad.
- ✓ Formas o esquemas que deben proponerse, investigarse y cuantificarse para resolver la necesidad a solucionar.
- ✓ Se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase inicial.
- ✓ Representa la prueba final de un diseño exitoso e implica las pruebas del prototipo.

- ✓ La comunicación de los resultados a otros es el paso final del proceso de diseño, donde se aspira vender la idea [1].

Ilustración 4. Fases del proceso de diseño.



FUENTE: DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY

AUTOR: BUDYNAS RICHARD G. NISBETT J KEINTH.

2.2.1.2. Consideraciones del Diseño Mecánico.

Cuando se utiliza de forma directa la expresión consideración de diseño, a menudo se deben considerar de manera directa varias características ya que son importantes porque estas influyen significativamente en el diseño [1]. Las consideraciones más importantes son las siguientes:

Tabla 1. Principales categorías de las consideraciones de diseño.

Consideraciones tradicionales	Consideraciones modernas	Consideraciones diversas
Materiales	Seguridad	Confiabilidad y facilidad de mantenimiento
Geometría	Ecología	Ergonomía y estética
Condiciones de operación	Calidad de vida	
Posibilidad de producción		
Vida del componente		

FUENTE: DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

AUTOR: ROBERT C. JUVINALL. KURT M. MARSHEK

2.2.2. Simulación por software.

La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo [19].

2.2.3. Propiedades mecánicas de los materiales.

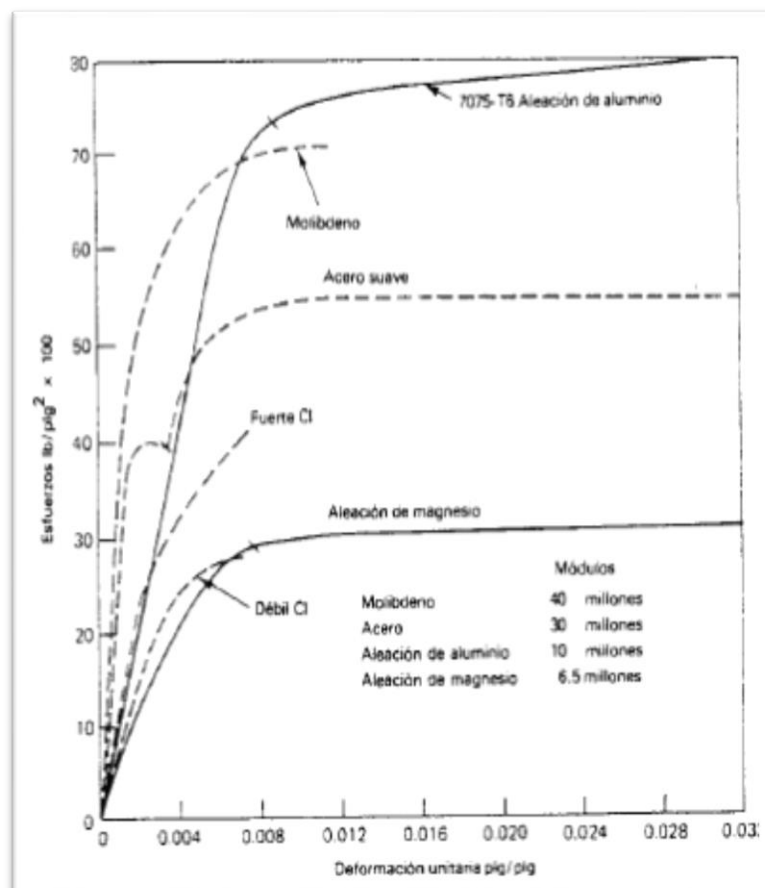
2.2.3.1. Elasticidad.

La elasticidad es la aptitud que presenta un material para deformarse y recuperar después su forma original cuando se le ha aplicado una carga. La carga es proporcional a la deformación si esta se encuentra dentro de los límites de una deformación elástica de un material [20]. La deformación elástica es aquella en que el cuerpo recupera su estado original después que se deja de aplicar una carga.

2.2.3.2. Plasticidad.

Cuando un material es sometido a una carga externa de tal magnitud que la deformación continúa sin un evidente incremento en la carga, se insinúa que el material se está volviendo plástico. En este estado, el material habrá experimentado una deformación permanente y no regresará a su tamaño y forma originales cuando se elimina la carga aplicada. Por ende, la plasticidad puede asumirse como lo contrario de la elasticidad. Esta diferencia es para un material teórico. En realidad, un material tal como un metal continuará deformándose con solo un pequeño aumento de carga que se le aplique [21].

Ilustración 5. Diagrama de esfuerzo-deformación para algunos materiales.



FUENTE: DISEÑO DE MÁQUINAS; TEORÍA Y PRÁCTICAS.

AUTORES: A. D. DEUTSCHMAN; W. J. MICHELS; C. E. WILSON.

2.2.3.3. Módulo de elasticidad.

Módulo de elasticidad o módulo de Young es la razón del esfuerzo a la deformación unitaria en un miembro bajo cargas, es una medida de la rigidez del material [22]. Entonces, el

módulo es realmente una medida de la rigidez por corte de un material. Para material dúctil, el módulo de elasticidad tiene igual valor para tensión y compresión, en particular, este es llamado “módulo de Young” representado con la letra E. Para materiales frágiles tales como fundiciones, ciertas aleaciones de magnesio, etc., este módulo es diferente tanto para tensión como para compresión [21].

2.2.3.4. Dureza.

La dureza es una medida de la resistencia de un metal a deformación plástica. La dureza que tiene un material se calcula exigiendo la indentación de un penetrador en la superficie de material determinado. El penetrador, normalmente puede ser una pirámide o cono, está elaborado acorde a las especificaciones de su funcionalidad siempre el material usado debe ser mucho más duro que el material al cual se realizará el ensayo [23].

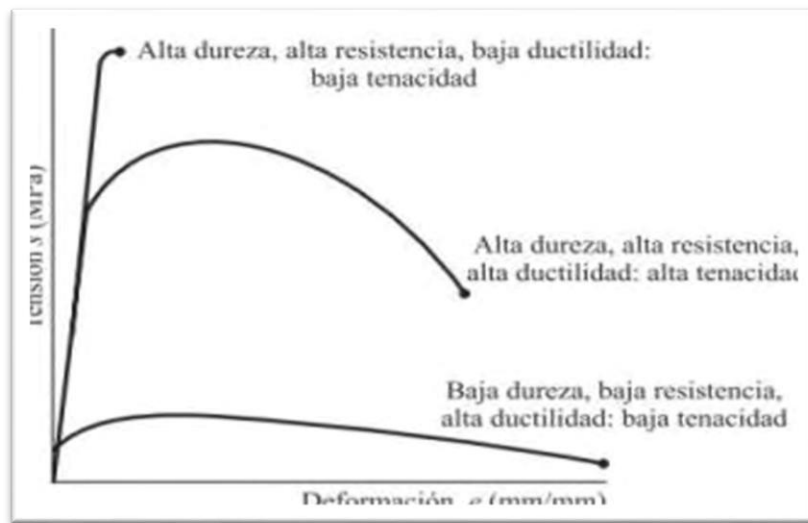
2.2.3.5. Ductilidad.

La ductilidad es el grado en el cual un material se deforma antes de la fractura. Lo opuesto de ductilidad es lo concerniente a la fragilidad. Cuando se utilizan materiales dúctiles en elementos de máquinas, se descubre con facilidad la inminente falla, y es rara una falla inesperada. Además, los materiales dúctiles resisten, bajo circunstancias normales, las cargas inesperadas sobre los elementos de máquina mejor que los materiales frágiles [24].

2.2.3.6. Tenacidad.

La tenacidad de un material se define como la energía total que es capaz de absorber en el transcurso del proceso de deformación plásticas hasta la fractura. Al ser una energía, esta se mide en julios. Por otro parte, hay que tener en consideración que la energía que se introduce al emplear tensión a un material se invierte fundamentalmente en deformarlo plásticamente, por lo que existirá una relación entre la tenacidad, la resistencia y la plasticidad [5].

Ilustración 6. Comportamiento de las curvas de tracción de tres materiales con diferente fuerza, ductilidad, y tenacidad.



FUENTE: CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS.

AUTORES: ALFREDO GUEMES GORDO; NURIA MARTÍN PIRIS.

2.2.4. Tipos de prensas.

Las prensas son máquinas herramientas cuyas características es la entrega de grandes cantidades de energía en forma controlada, de acuerdo a la forma de entrega de la energía las prensas pueden ser mecánicas, neumáticas e hidráulicas [25].

2.2.4.1. Prensa mecánica.

Son herramientas utilizadas en la fabricación para deformar piezas a alta presión, como bronce hierro, acero, cobre o aluminio. El uso de prensas mecánicas involucra diferentes campos, como la fabricación de piezas de automóviles y aviones, la fabricación de suministros de cocina o fabricación de materiales de ferretería [26].

2.2.4.2. Prensa neumática.

Están controladas por aire a presión, que reciben a través de un tubo y que ejerce una presión sobre la prensa, haciendo que ésta se mueva hacia abajo. Cuando termina su recorrido descendente, el aire acumulado en sus válvulas se evacúa, haciendo que la bomba vuelva a desplazarla hacia arriba, realizando trabajos como troquelado [27].

2.2.4.3. Prensa hidráulica.

Es un mecanismo que está formado por vasos comunicantes impulsados por pistones de diferentes áreas que, mediante pequeñas fuerzas, permite obtener otras mayores. Los pistones son hidráulicos. Estos hacen funcionar conjuntamente a las prensas hidráulicas por medio de motores [28].

2.2.5. Protección personal.

2.2.5.1. Guantes de seguridad.

La función principal de los guantes de seguridad industrial, es proteger las manos de sus usuarios, así mismo brindar protección a los antebrazos contra cualquier amenaza a su integridad como cortes, abrasiones, quemaduras, punciones con objetos punzocortantes, así mismo los guantes pueden proteger contra cierto tipo de descargas eléctricas [29].

2.2.5.2. Gafas de seguridad o pantalla facial.

Son uno de los equipos de protección personal más indispensables y de mayor uso, ya que protegen los ojos de frente y de lado de una gran variedad de peligros y riesgos, como objetos o partículas sólidas voladoras e incluso de salpicaduras químicas [30].

2.2.5.3. Calzado de seguridad.

Son un equipo de protección personal para la protección de los pies en el campo de trabajo. Previniendo lesiones en los pies ante los riesgos que pudieran encontrarse a causa de sustancias químicas, bordes de objetos afilados, objetos calientes, superficies resbaladizas mojadas, caída de objetos pesados, objetos rodantes que caen, maquinaria rotativa [31].

2.2.5.4. Ropa de trabajo.

Dentro del vestuario laboral se puede encontrar ropa de protección, que es toda aquella prenda que protege el cuerpo de uno o varios peligros. Su elección deberá basarse en el estudio y la evaluación de los riesgos dependiendo de [32]:

- La durabilidad de la exposición a los riesgos
- Su frecuencia y gravedad
- Las condiciones existentes en el trabajo y su entorno.

2.2.5.5. Protección individual auditiva.

Los equipos de protección auditiva son dispositivos que sirven para reducir el nivel de presión acústica en los conductos auditivos a fin de no producir daño en el individuo expuesto. Existen distintas versiones de protectores como tapones, auriculares de protección y tapones con arco [33].

2.2.6. Ensayo en soldadura.

2.2.6.1. Ensayos no destructivos.

Es todo tipo de pruebas practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades mecánicas, físicas, dimensiones o químicas. Su propósito es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas [34]. Existen diferentes métodos de inspección como son:

- ✓ **Inspección visual:** Es una prueba no destructiva exigida por todos los estándares de soldadura, que revela fallas en la superficie de un depósito de soldadura o en la superficie del metal base y es por tanto una indicación valiosa sobre la calidad de una unión soldada [35].
- ✓ **Líquidos penetrantes:** Son un tipo de ensayos no destructivos con el que se consiguen detectar imperfecciones superficiales en materiales no porosos tanto en materiales metálicos como en materiales no metálicos [36].
- ✓ **Radiografía industrial:** Este tipo de ensayo estudia las discontinuidades internas de un material. Existen diferentes tipos de ensayo de radiografía industrial. Los principales son el método convencional, la radiografía de acelerador lineal, la digital, la automática y la digitalización de las radiografías [37].
- ✓ **Partículas magnéticas:** Mediante este método se puede detectar las discontinuidades que se encuentran sobre o justamente debajo de la superficie. Para

realizar esta prueba se somete al codón de soldadura a una magnetización y espolvorear sobre él, partículas finas de metal ferro magnético. Si en la superficie se forma un campo de fuga que atrae el polvo de hierro, es porque presenta una discontinuidad [38].

2.2.6.2. Ensayos destructivos.

Es aquel que deteriora la pieza que inspecciona, pero dependiendo del tipo de ensayo, la pieza experimentara desde una leve marca, a una deformación permanente o incluso un rotura parcial o total, a continuación, se menciona algunos de estos tipos de ensayos [39]:

- ✓ **Ensayo de tracción:** El ensayo consiste en aplicar un esfuerzo axial a una probeta hasta su rotura. La velocidad de deformación aplicada para no distorsionar el resultado debe ser baja, durante el ensayo de tracción se mide la fuerza y la extensión de la probeta [40].
- ✓ **Ensayo de impacto:** Este tipo de ensayos se ejecutan en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, donde se identifica el comportamiento de los materiales al ser golpeadas por una masa concreta a la que cae desde altura establecida, existen dos tipos de ensayo como son: el método Izod y el método Charpy. En ambos casos la rotura se produce por flexionamiento de la probeta, la diferencia radica en la posición de la probeta y su similitud es generar su rotura por flexión denominada también flexión por choque [41].
- ✓ **Ensayo de doblez:** Es un ensayo simple y se utiliza para verificar la ductilidad de materiales, este consiste en someter a la probeta a esfuerzos de flexión, hasta que éste alcanza un determinado ángulo establecido en la norma del producto ensayado o en las especificaciones técnicas, luego se verifica visualmente si en la cara sometida a tracción aparece grietas [42].

2.2.7. Ensayo de resistencia al doblado.

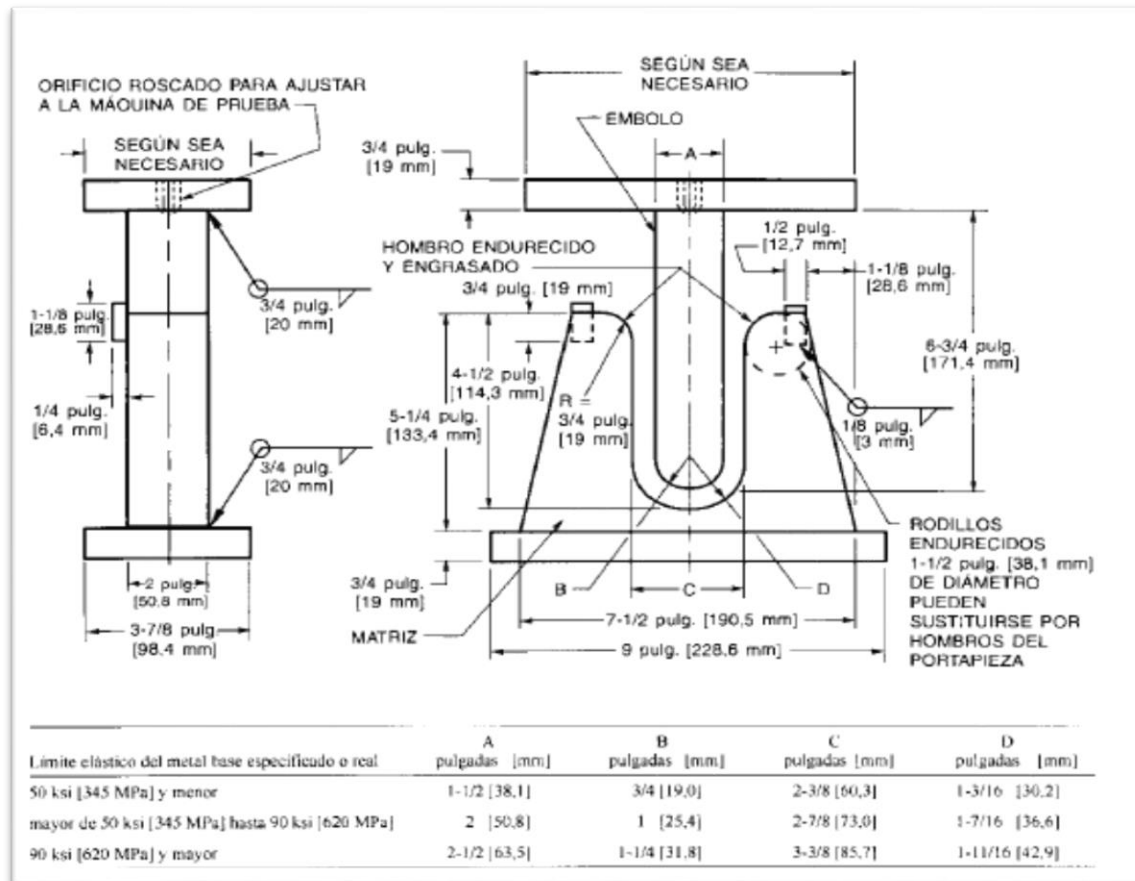
En la actualidad existen varios tipos de ensayos de doblado, estos principalmente dependen de la orientación de la soldadura respecto al doblado. La norma AWS D1.1 presenta tres tipos de probetas para doblez transversal que son [16].

- ✓ Cara
- ✓ Lateral
- ✓ Raíz

2.2.7.1. Ensayo de doblado guiado.

Se caracteriza por la matriz y émbolo, al colocarse una probeta en la superficie de la matriz el émbolo está encargada de ejercer una carga hacia la matriz para realizar el doblado de probeta donde toma forma de característica de U.

Ilustración 7. Plantilla guía para ensayo de doblado guiado.



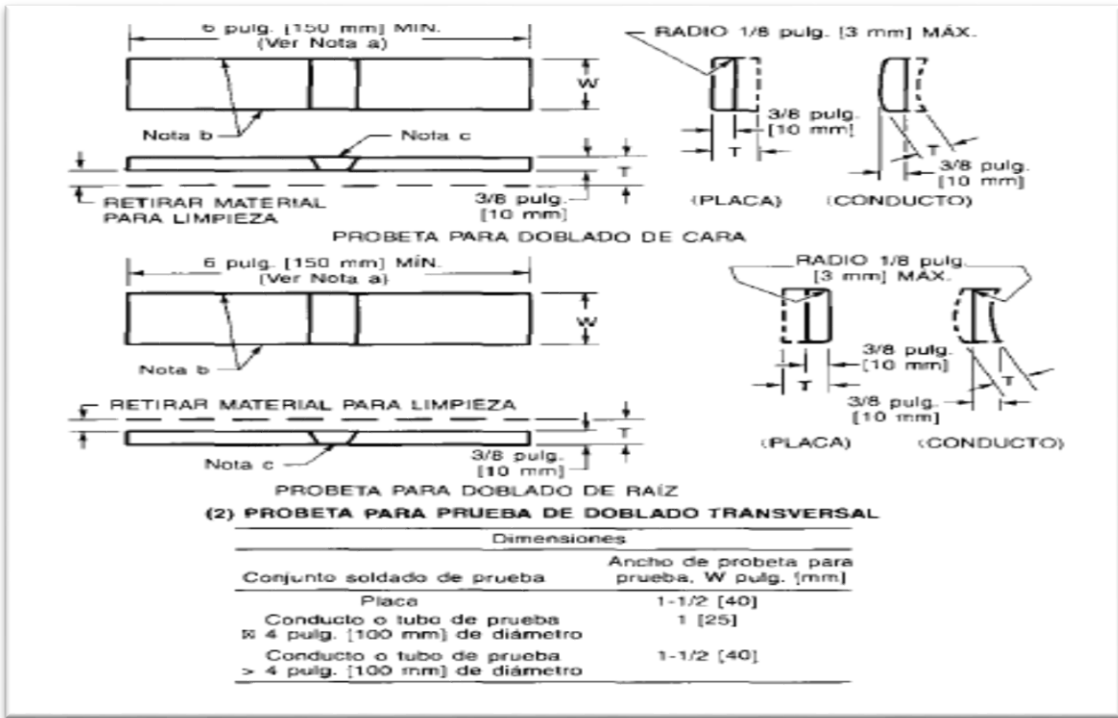
FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

El ensayo de doblado guiado consiste en que las probetas son dobladas en la matriz guía la cual debe cumplir con los parámetros de la norma AWS D1.1. Al colocar una probeta sobre la matriz esta se le aplica una fuerza constante a través del émbolo hasta que la probeta se deforme y tome forma característica de U [16].

2.2.7.2. Probetas para doblado de raíz, cara y lado.

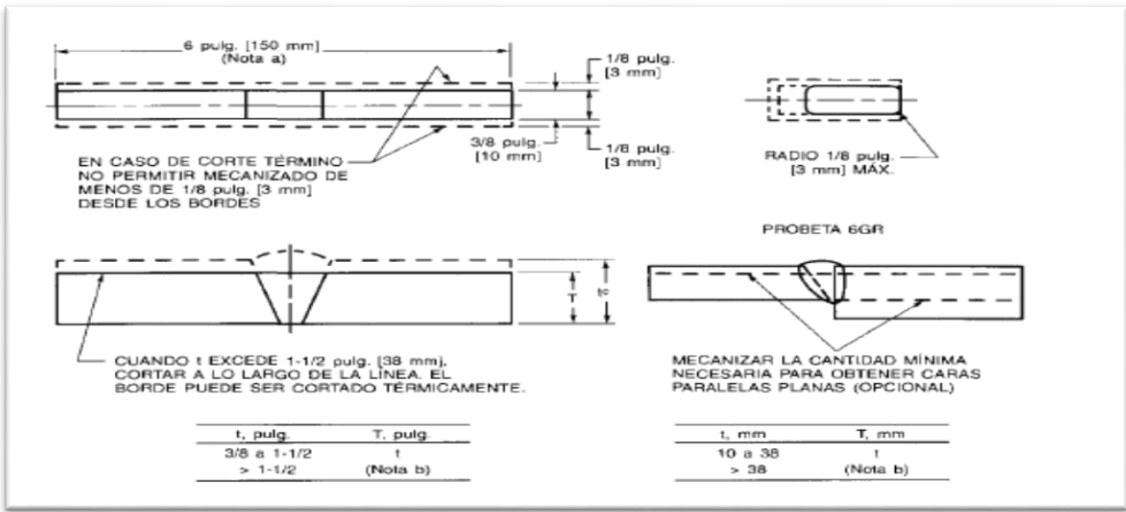
La norma AWS D1.1, proporciona los parámetros de diseño de las probetas para cada tipo de ensayo de doblez guiado que se ilustra a continuación.

Ilustración 8. Probeta de doblado cara y raíz.



FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

Ilustración 9. Probetas de doblado lateral.



FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

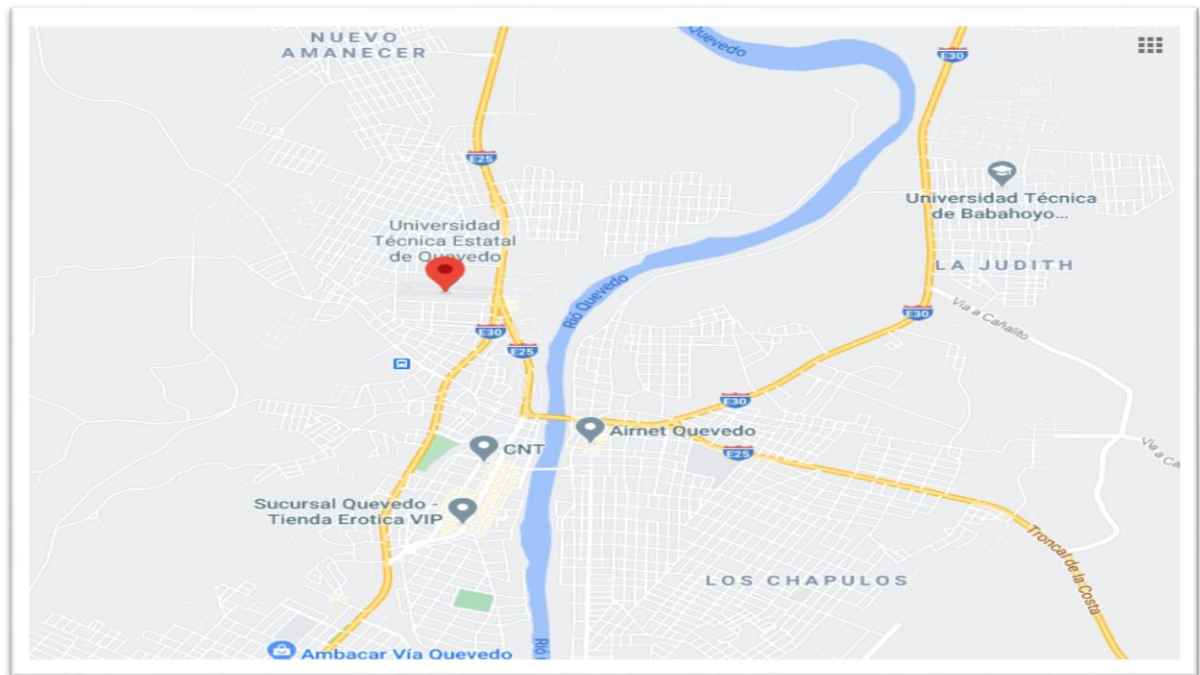
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El desarrollo de este proyecto de investigación fue efectuado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus “Manuel Haz Álvarez”, ubicado en la Av. Quito – Vía Santo Domingo de los Tsáchilas Km 1¹/₂ ubicado en el cantón Quevedo, Provincia de los Ríos.

Ilustración 10. Ubicación geográfica de la UTEQ.



FUENTE: GOOGLE MAPS.

Tabla 2. Ubicación geográfica.

Altitud	74 msnm
Longitud	79°28'30'' O
Latitud	1°2'30'' S
Temperatura	Max: 32°C
Temperatura	Mín: 22 °C

FUENTE: GOOGLE MAPS.

3.2. Tipos de investigación.

3.2.1. Investigación descriptiva.

La investigación de este proyecto se orienta principalmente en la información descrita por el Código AWS D1.1/D1.1M:2015, Código de soldadura estructural – acero, la cual es asumida como referencia para establecer especificaciones o parámetros al diseño de la máquina y de esta forma analizar minuciosamente los resultados del procesamiento y su análisis que se van a obtener en el desarrollo del diseño mecánico.

3.2.2. Investigación documental.

Este tipo de investigación fue utilizada en el presente documento, para lo cual la recopilación de información se fundamenta en libros, manuales, artículos científicos entre otros, considerando siempre el tema de diseño para un banco de pruebas, en el cual se evaluarán las juntas soldadas a través del ensayo de doblado y su contribución al desarrollo del proyecto en todas sus etapas.

3.3. Metodología de la investigación.

3.3.1. Analítico.

Por medio del método analítico se plantea comprobar y analizar los diversos datos e información que se obtiene en el desarrollo de la investigación, mediante el análisis de las distintas variables que se genera en el problema de realizar el diseño y simulación de un banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas donde cumpla y satisfaga las especificaciones que se requiere para la realización del ensayo de doblez según el código AWS D1.1/D1.1M:2015.

3.3.2. Método bibliográfico.

A través de este método se realizará consultas en libros, revistas, manuales, sitios web, artículos científicos, donde se busca información necesaria del principio en que se encuentra basado el banco de pruebas para ensayos de doblado, materiales a utilizar para el diseño del

banco de pruebas, funcionamiento del equipo, todo esto usando diferentes fuentes de investigación y reciente desarrollo.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

La información recopilada para este proyecto fue especialmente de sitios web profesionales tales como Academia.edu, SciELO, como también de libros, manuales, revistas y la observación del proceso del ensayo de doblado.

3.5. Diseño de la investigación.

El presente proyecto de investigación se desarrolló con la finalidad de verificar la resistencia de los materiales y pronosticar un buen funcionamiento del conjunto ensamblado del banco de pruebas para la evaluación de juntas soldadas, a través del software de diseño asistido por computador CAD SolidWorks, donde se analizan los componentes del sistema que soportan cargas críticas del módulo simulación del software CAD.

Ilustración 11. Diseño del Banco de pruebas.



FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

3.6. Recursos humanos y materiales.

3.6.1. Recurso humano.

- ✓ Docentes
- ✓ FCI de la Universidad Técnica estatal de Quevedo
- ✓ Autor
- ✓ Sinmaleza Monar Carlos Andrés
- ✓ Tutor del proyecto de investigación
- ✓ Ing. Cevallos Omar MSc.

3.6.2. Recursos materiales.

3.6.2.1. Material (Tecnológico).

Tabla 3 Materiales tecnológicos.

Cantidad	Máquina	Especificaciones
1	Computador	Intel® Core™ i7-4770 CPU 3.4GHZ 8 GB RAM
1	Impresora	EPSON L355

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

3.6.2.2. Material (Software).

Tabla 4. Exigencia de Software.

Tipo	Descripción
Software Utilitario	MS Office 2019 ✓ Word ✓ Excel
Software de diseño	✓ Software CAD SolidWorks

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Selección.

4.1.1. Selección de la prensa adecuada.

4.1.1.1. Selección de alternativas.

Para la realización de la investigación se propone tres alternativas de diseño como son la prensa mecánica, prensa neumática y la prensa hidráulica, con la propuesta de estas tres alternativas se espera obtener la prensa más adecuada mediante la realización del método de criterios ponderados.

4.1.1.1.1. Alternativa 1 (Prensa mecánica “PM”)

El equipo consta con un sistema que mejora la productividad, el control del tiempo y la velocidad. Usado principalmente para trabajos de corte y doblado. Es una herramienta usada para dar forma a materiales.

Ilustración 12. Prensa mecánica.



FUENTE: METALWORLD.MX.

Características Técnicas.

- ✓ Longitud máxima del rodillo del equipo es de 3150 mm.
- ✓ Velocidad de laminación 4.5/min.
- ✓ Anchura máxima de la placa 3100 mm.

Ventajas.

- ✓ Consta con un control de precisión.
- ✓ Fácil de reparación.
- ✓ El uso del equipo es relativamente sencillo.

Desventajas.

- ✓ Para su funcionamiento depende de la electricidad (Costos por consumo de electricidad).
- ✓ Su mantenimiento es un poco más complicado que otros tipos de prensa.
- ✓ Limitación del uso (Las tareas a realizar deben ser específicas, limitando el uso).

4.1.1.1.2. Alternativa 2 (Prensa neumática “PN”)

El equipo posee un rendimiento de trabajo constante, la eficiencia de producción que presenta es realmente alta, un equipo que genera poco ruido y su costo de mantenimiento es bajo. Utilizada principalmente para doblado o corte de materiales, consta con un equipo de control PLC y válvulas de seguridad.

Ilustración 13. Prensa neumática.



FUENTE: WORLD PRECISE MACHINERY GROUP.

Características técnicas.

- ✓ Un cuerpo soldado de acero, alta rigidez y estabilidad.
- ✓ Una estructura compacta.
- ✓ Su capacidad nominal es de 250 KN.
- ✓ Cuenta con un control PLC y válvulas de seguridad.

Ventajas.

- ✓ Un equipo que brinda una alta precisión en los trabajos que realiza.
- ✓ Ahorra tiempo de trabajo, por su rapidez y frecuencia.
- ✓ Todos los procesos están monitoreados debido a su control PLC.
- ✓ Mejor agarre, permitiendo una mejor manipulación.

Desventajas.

- ✓ Es dependiente de una conexión eléctrica, debido a esto al ocurrir un corte eléctrico deja de funcionar, ocasionando pérdidas económicas.
- ✓ Su tamaño generalmente suele ser considerables por lo que dificulta su instalación y traslado.
- ✓ El mantenimiento de este tipo de prensa es complejo.
- ✓ Su uso es limitado, porque cuando se encuentra en funcionamiento se debe limitar su uso a una opción solamente.

4.1.1.1.3. Alternativa 3 (Prensa hidráulica “PH”)

La máquina al aplicarle una fuerza pequeña esta genera una fuerza mucho mayor, es un ejemplo de la aplicación del principio de pascal. El uso en el ámbito industrial se centra en el moldeado, enderezado, remachado. El mantenimiento es muy importante para este tipo de máquina.

Ilustración 14. Prensa Hidráulica.



FUENTE: METALLKRAFT.

Características técnicas

- ✓ Es una máquina que consta de pistones, estos interactúan con cilindros unidos por vasos que se comunican, los cuales están llenos de fluidos, y su función es multiplicar una fuerza.
- ✓ La máquina tiene una estructura soldada de acero.

Ventajas

- ✓ Diseño simple, lo cual las hace fácil de operar, y su vida útil es muy larga.
- ✓ Sus usos pueden ser variados por su adaptabilidad a diferentes aplicaciones.
- ✓ El costo del mantenimiento es relativamente bajo.
- ✓ El nivel de ruido que genera es mínimo.
- ✓ Menos costo de compra.

Desventajas.

- ✓ La velocidad de operación no es tan alta, debido al proceso de funcionamiento en comparación de otro tipo de prensa, como la prensa mecánica o neumática que le toma segundos.
- ✓ Fuga de líquido.

4.1.1.2. Valoración.

Para el proceso de evaluación se especifican los valores para cada criterio, donde se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes [43].

Tabla 5. Valores para criterios de ponderación.

Valor	Descripción	Simbología
0	Si el criterio de las filas es inferior o peor que el de las columnas.	<
0.5	Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.	=
1	Si el criterio de las filas es superior o mejor que el de las columnas.	>

FUENTE: DISEÑO CONCURRENTE.

AUTOR: CARLES RIBA ROMEVA

4.1.1.3. Definición de los criterios a ponderar.

A continuación, se presentan los criterios de evaluación empleados para la selección de la mejor alternativa de diseño.

- **Capacidad de prensado:** Con este parámetro de evaluación se busca un diseño que permita el doblado de una probeta de 6.35 mm de espesor, la cual necesita una prensa con la capacidad de 6.2 toneladas.
- **Prensado adecuado del material:** Se refiere a la calidad del prensado que tendrá el material.
- **Costos aceptables:** Con este criterio se busca obtener un diseño donde los costos de construcción sean aceptables.
- **Accesibilidad de los materiales en el mercado local o nacional:** Disponibilidad de materia prima para la construcción de la máquina.

Jerarquizando los criterios seleccionados de la Tabla 6 **Tabla 6.** Evaluación de los criterios., se tiene que:

$$\text{Criterio 1} > \text{Criterio 2} > \text{Criterio 3} = \text{Criterio 4}$$

Por lo que la valoración se da según los siguientes parámetros que son:

Tabla 6. Evaluación de los criterios.

Criterio	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	$\sum+1$	Ponderado
Criterio 1		1	1	1	4.0	0.40
Criterio 2	0		1	1	3.0	0.3
Criterio 3	0	0		0.5	1.5	0.15
Criterio 4	0	0	0.5		1.5	0.15
Total					10	1.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Con la realización de esta ponderación, se procede a evaluar la alternativa más adecuada en función a los criterios definidos.

4.1.2. Evaluación de cada criterio.

4.1.2.1. Ponderación de las alternativas en función de la capacidad de prensado.

Mediante el criterio de capacidad de prensado se obtuvo que la alternativa 1 y 2 tienen resultados iguales, pero mayor que la alternativa 3 donde su capacidad de prensado es inferior, pero cumple con los requerimientos necesarios para el doblado del material.

En la Tabla 7 se puede apreciar la evaluación de las alternativas en función a la mayor capacidad de conformado.

Tabla 7. Capacidad de prensado.

Criterio 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderado
------------	---------------	---------------	---------------	----------	-----------

Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0		1	0.166
Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2			Total	6.0	1.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.1.2.2. Ponderación de las alternativas en función del prensado adecuado del material.

Con el criterio de prensado adecuado del material se consideró que la alternativa 3 ofrece un prensado más adecuado, en comparación a la alternativa 1 la cual es intermedia porque su prensado es aceptable y por último la alternativa 2 con un prensado del material inferior a las anteriores. Sus datos de ponderación mediante sus criterios en cada alternativa se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Prensado del material.

Criterio 2	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0	2.0	0.333
Alternativa 2	0		0	1.0	0.167
Alternativa 3	1	1		3.0	0.500
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1			Total	6.0	1.000

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.1.2.3. Ponderación de las alternativas en función a los costos aceptables.

Mediante el criterio de costos aceptables la alternativa 3 es la que presenta un costo menor para su construcción con respecto a las alternativas 1 y 2 donde su costo es mayor que la alternativa 1 pero iguales entre sí, se puede observar la evaluación de las alternativas en la Tabla 9.

Tabla 9. Costos aceptables.

Criterio 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderado
Alternativa 1		0.5	0	1.5	0.25
Alternativa 2	0.5		0	1.5	0.25
Alternativa 3	1	1		3.0	0.50
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3			Total	6.0	1.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.1.2.4. Ponderación de las alternativas en función a la accesibilidad de los materiales en el mercado local o nacional.

En referencia a la accesibilidad de los materiales para la construcción de una prensa se considera que las alternativas 3 aceptable, debido a que los materiales para su construcción se los puede conseguir en su gran mayoría a nivel local. En cuanto a las alternativas 1 y 2 debido a que un número mayor materiales que no se consiguen a nivel local con respecto a la alternativa 3 tiene una valoración menor.

En la Tabla 10 se puede visualizar la evaluación de las alternativas en función a la accesibilidad de los materiales a nivel local o nacional.

Tabla 10. Accesibilidad de los materiales.

Criterio 4	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum+1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0.5	2.5	0.42
Alternativa 2	0		0	1.0	0.16
Alternativa 3	0.5	1		2.5	0.42
Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 2			Total	6.0	1.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS

4.1.3. Conclusión de método de residuos ponderados

Mediante la Tabla 11 se realizó el análisis de residuos ponderados el cual dio como resultado más viable la alternativa 3 según el criterio ingenieril propuesto es la mejor elección a diseñar, este método ayuda a comprobar los mejores aspectos de cada una de las alternativas, para la selección más viable con respecto a la capacidad de prensado, prensado adecuado del material, costos aceptables del material y accesibilidad a los materiales en el mercado local o nacional. La alternativa seleccionada es la 3, con una ponderación de 0.3416 seguida de la alternativa 1 con una ponderación de 0.3354 y por último la alternativa 2 con una ponderación de 0.323.

Tabla 11. Tabla de criterios.

Criterios	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	$\Sigma+1$	Ponderado
Alternativa 1	0.1668	0.0999	0.0375	0.0375	1.3417	0.3354
Alternativa 2	0.0668	0.0501	0.0375	0.0375	1.2919	0.3230
Alternativa 3	0.0664	0.1500	0.0750	0.0750	1.3664	0.3416
Total					4.00	1.00

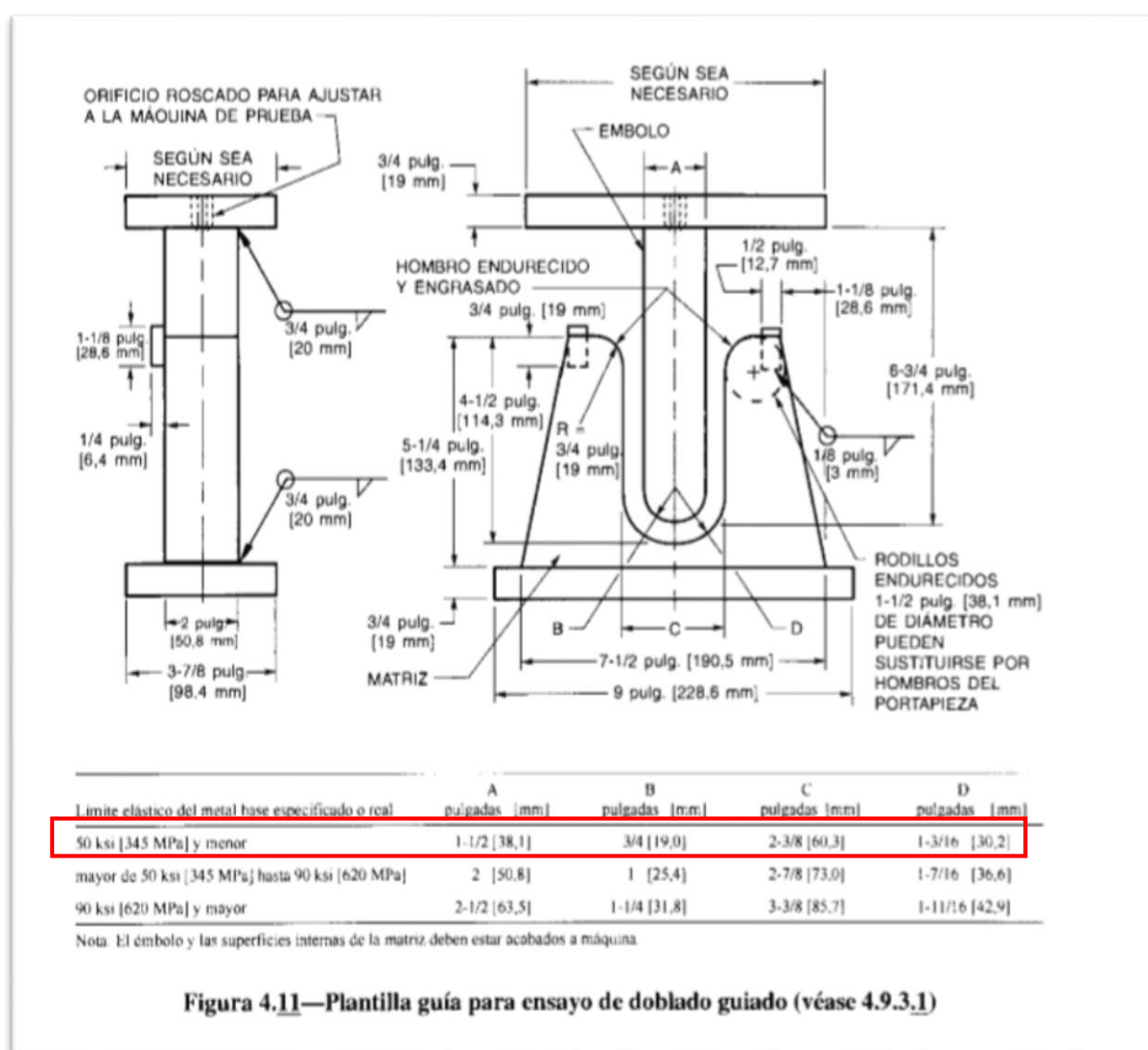
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.2. Diseño.

La propuesta de diseño es la implementación de un banco de pruebas para la evaluación de juntas soldadas, iniciando con el análisis de la junta soldada requerida para el ensayo de doblado la misma que se puede observar en la Ilustración 16, la cual sigue el siguiente procedimiento.

Se inicia con el diseño según la plantilla guía para el ensayo de doblado guiado, proporcionado por la norma AWS D1.1. donde especifica los parámetros para el dimensionamiento de la matriz y émbolo, como se puede observar en la Ilustración 15.

Ilustración 15. Plantilla guía para ensayo de doblado guiado.



FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

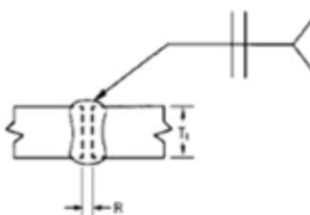
4.2.1. Análisis de la junta soldadas.

Se inicia con la selección del tipo de unión soldada proporcionada por la norma AWS D1.1, para el diseño de la junta soldada se selecciona el tipo de canal cuadrado con la designación de junta B-P1c, como se puede apreciar en la Ilustración 16.

Para el procedimiento de cálculos se escogerá la que cuenta con el mayor espesor como se observa en la Ilustración 16.

Ilustración 16. Especificaciones de la soldadura a tope de canal cuadrada.

Soldadura en ranura en escuadra (1)
Junta a tope (B)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Tamaño de la soldadura (E)	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según detalle (véase 3.12.3)	Según acoplamiento (véase 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	1/8	—	R = 0 a 1/16	+1/16, -0	±1/16	Todas	T ₁ - 1/32	b
	B-P1c	1/4 máx.	—	R = $\frac{T_1}{2}$ min.	+1/16, -0	±1/16	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b
GMAW FCAW	B-P1a-GF	1/8	—	R = 0 a 1/16	+1/16, -0	±1/16	Todas	T ₁ - 1/32	b, e
	B-P1c-GF	1/4 máx.	—	R = $\frac{T_1}{2}$ min.	+1/16, -0	±1/16	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b, e

FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

En base al espesor de la placa es de 6.35 mm se escoge el parámetro de la junta designado como B-P1c.

Para poder encontrar la abertura de la raíz se emplea la Ecuación 1 [16]:

$$R = \frac{T_1}{2}$$

Ecuación 1.

Abertura de raíz

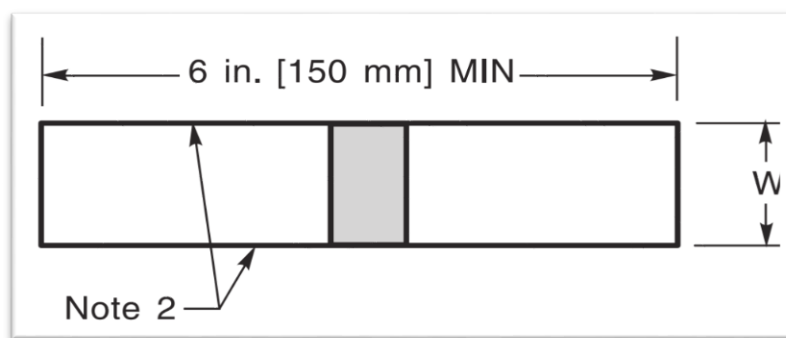
$$R = \frac{6.35 \text{ mm}}{2}$$

$$R = 3.175 \text{ mm}$$

4.2.2. Diseño de la probeta para ensayo de doblado.

Para el análisis requerido se utilizó la norma AWS D1.1 2015, para el doblado de cara – raíz.

Ilustración 17. Probeta para ensayo de doblado cara-raíz.



FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015.

Tabla 12. Especificaciones del ancho de la probeta.

Parámetros	
Conjunto soldado de prueba	Ancho de probeta para prueba, W pulg (mm)
Plata	1-1/2 (40)
Conductores o tubo de prueba ≤ 4 pulg. (100 mm) de diámetro	1 (25)
Conducto o tubo de prueba > 4 pulg. (100 mm) de diámetro	1-1/2 (40)

FUENTE: AWS D1.1/D1.1M:2015, [2015]

En la Tabla 12 se observa las especificaciones de doblado detallado en las normas AWS D1.1/D1.M, se tendría una placa con las siguientes dimensiones:

- ✓ Largo: 200 mm
- ✓ Ancho: 40 mm
- ✓ Espesor: 6.35 mm

4.2.3. Análisis de carga a realizar para el doblado.

El diseño dimensional se inicia con la determinación de algunos factores que son:

$$F = k * \sigma * t * w$$

Ecuación 2.
Fuerza
necesaria
para doblar

Donde:

- ✓ F = Fuerza necesaria para doblar
- ✓ K = Experimental = 0.4 (Para doblado de Acero)
- ✓ σ = Resistencia a la tracción = 400 MPa = $40.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$
- ✓ t = Espesor del material = 6.35 mm
- ✓ w = Ancho del doblado = 40 mm

Para calcular la fuerza necesaria para doblar se utiliza la Ecuación 2:

$$F = k * \sigma * t * w$$

$$F = 0.4 * 40.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} * 6.35 \text{ mm} * 40 \text{ mm}$$

$$F = 4145.28 \text{ kgf}$$

$$F = 40651.31011 \text{ N}$$

4.2.4. Selección de gato hidráulico.

El siguiente paso es definir la fuerza de diseño, la cual varía del 1.2 al 1.5 de la fuerza requerida.

Por lo tanto, la fuerza de diseño se calcula con la Ecuación 3 [44]:

$$F_D = F * 1.5$$

Ecuación 3.
Fuerza de diseño

$$F_D = 4145.25 \text{ kgf} * 1.5$$

$$F_D = 6217.92 \text{ kgf} = 60976.97 \text{ N}$$

Por lo que el gato hidráulico deberá tener una capacidad de carga de:

$$F_D = C = 6217.92 \text{ kg} = 6.21792 \text{ Toneladas}$$

Según el tonelaje requerido se escoge el gato hidráulico tipo botella de:

Ilustración 18. Gata hidráulica.

Gatos de botella
Con dispositivo de extensión (tornillo) el cual incrementa la altura máxima

Gatos de operación horizontal
Pueden utilizarse para empujar elementos en forma horizontal, cuidando que el sistema de bombeo quede hacia abajo

Incluyen: Mango de extensión (2 piezas)

Cumplen la Norma Oficial Mexicana: NOM-114-SCFI

Código	14822	14820	14818	14816	14814
Modelo:	GAT-20	GAT-16	GAT-12	GAT-8	GAT-6
Capacidad:	20 t	16 t	12 t	8 t	6 t
Altura máxima:	470 mm	470 mm	470 mm	470 mm	430 mm
Altura mínima:	240 mm	230 mm	230 mm	230 mm	215 mm
Empaque:	CAJA 1 / MASTER 2 / PALLET 108	CAJA 1 / MASTER 2	CAJA 1 / MASTER 3 / PALLET 126	CAJA 1 / MASTER 4	CAJA 1 / MASTER 6

FUENTE: TRUPER.

Por lo que la gata hidráulica seleccionada tendrá los siguientes parámetros

Ilustración 19. Gato de botella código 141816.



GATO DE BOTELLA, 8 TONS

TRUPER

CÓDIGO: **14816** CLAVE: **GAT-8**

CARACTERÍSTICAS

- Cilindro fabricado en acero
- Base fabricada en hierro fundido
- Aceite hidráulico






Gatos de operación horizontal

APLICACIONES

- En talleres mecánicos, vulcanizadoras, prensa hidráulica, etcétera

NORMA

- Cumple la Norma Oficial Mexicana: NOM-114-SCFI

ESPECIFICACIONES

Capacidad	8 ton
Sobrecarga máxima	11.2 ton
Sostenimiento de carga máximo	9.6 ton
Carga para descenso	25 Kg
Altura máxima	470 mm
Altura mínima	230 mm
Peso	5.93 Kg
Empaque individual	Caja
Inner	1
Master	4

FUENTE: TRUPER.

4.2.5. Diseño de la estructura.

Diseño de la estructura se da según las cargas originadas de los elementos constitutivos que son:

Ilustración 20. Partes de un banco de pruebas para ensayo de doblado según la norma AWS D1.1:2015



FUENTE: SOLIDWORKS
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Tabla 13. Cargas originadas

Número	Elemento	Material	Unidad (kg)	Total (kg)
2	Placa lateral	ASTM A36	30.56	61.12
1	Placa Inferior	ASTM A36	9.02	9.02
4	Guía	AISI 1018	0.6	2.4
1	Base del punzón	ASTM A36	9.01	9.01
1	Punzón	Bohler M201	2.51	2.51
1	Base matriz	ASTM A36	9.01	9.01
1	Matriz	Bohler M201	7.45	7.45
1	Gato hidráulico	Varios	5.93	5.93
1	Placa porta tornillos	AISI 1045	0.25	0.25
4	Bocín	Cobre	0.03	0.12
	Accesorio	Varios	1.00	1.00
1	Manguera	Caucho	0.02	0.02
Total				107.84

Ilustración 21 Estructura.



FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

El diseño de la estructura se da en función de la columna y viga de la siguiente manera:

4.2.5.1. Viga.

La viga se determina de la siguiente manera:

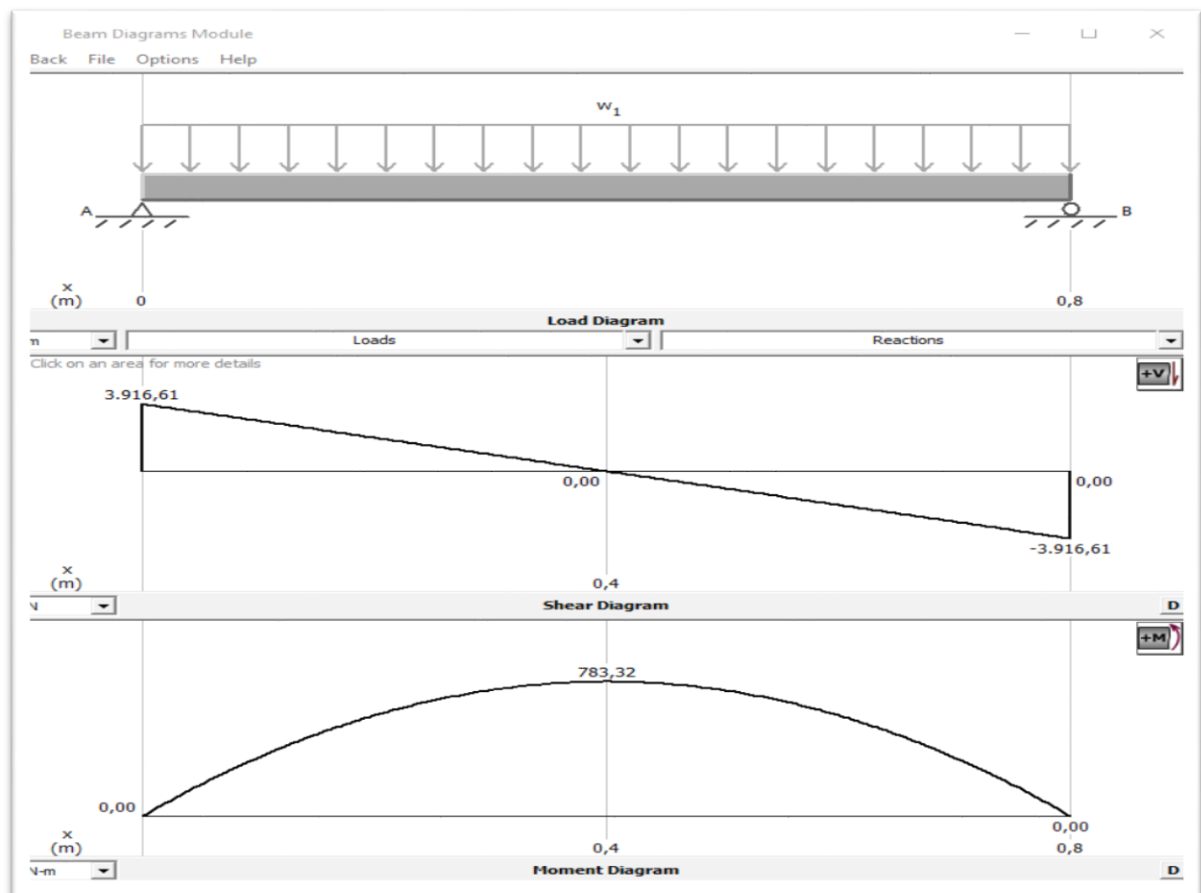
- ✓ Carga de elemento = 107.84 kg
- ✓ Fuerza para doblar = 40651.31011 N

Como son de 6 vigas las que soportan la carga, la fuerza de diseño que actúa en cada viga es: 6775.22 N

- ✓ Peso de los elementos = $107.84 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1058 \text{ N}$
- ✓ Carga Total = $677.22 \text{ N} + 1058 \text{ N} = 1735.22 \text{ N}$
- ✓ Longitud = 800 mm
- ✓ Límite de Fluencia $F_y = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$, del Acero A36
- ✓ Carga Distribuida = $9791.52 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

Por lo que el momento máximo se determina de la siguiente manera:

Ilustración 22. Diagrama de momentos.



FUENTE: MDSOLIDS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

El momento máximo definido es de $783.32 \text{ N} \cdot \text{m} = 7987.64 \text{ kg} \cdot \text{cm}$.

El siguiente paso es definir el Esfuerzo Permisible, el cual se da de la siguiente manera:

Donde:

- ✓ F_b = Esfuerzo Permisible (ksi)
- ✓ F_y = Límite de fluencia: $2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 36 \frac{\text{klb}}{\text{pulg}^2}$
- ✓ FDS = Factor de seguridad = 4 recomendado para estructuras estáticas bajo cargas dinámicas [24].

Donde se calcula el esfuerzo permisible con la Ecuación 4:

$$F_b = \left(1 - \frac{1}{FDS}\right) * F_y$$

Ecuación 4.
Esfuerzo
permisible

$$F_b = \left(1 - \frac{1}{4}\right) * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_b = 1897.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Para finalmente definir el Módulo de sección (S_x), de la siguiente manera.

Donde se tiene:

- ✓ S_x = Módulo de Sección (cm^3)
- ✓ M = Momento 7987.64 kg*cm
- ✓ F_b = Esfuerzo permisible 1897.5 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Utilizando la Ecuación 5 se procede a calcular el módulo de sección [22]:

$$S_x = \frac{M}{F_b}$$

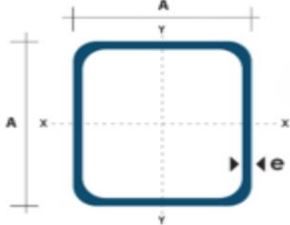
Ecuación 5.
Módulo de sección

$$S_x = \frac{7987.64 \text{ kg} * \text{cm}}{1897.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$S_x = 4.21 \text{ cm}^3$$

Según el módulo de sección definido $S_x = 4.21 \text{ cm}^2$ se selecciona el tubo cuadrado más adecuado, como se observa en la Ilustración 23:

Ilustración 23. Tubo cuadrado.



Dimensiones			Area	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Area cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84

FUENTE: DIPAC.

Por facilidad de adquisición y por el módulo de sección se escoge el tubo cuadrado de 50x50x3 mm.

4.2.5.2. Columna.

Las Cargas que actúan en las columnas son:

- ✓ Carga de elementos = 107.84 kg
- ✓ Fuerza para doblar = 40651.31011 N
- ✓ Peso de los elementos = $107.84 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1058 \text{ N}$
- ✓ Carga Total = $40651.31011 \text{ N} + 1058 \text{ N} = 41709.31011 \text{ N} = 9376.63 \text{ lbf}$
- ✓ Factor k = 0.65 por encontrarse empotrada - empotrada
- ✓ Longitud que tienen las columnas es de 825 mm = 32.5 pulg.
- ✓ Límite de fluencia es $2530 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 36 \text{ kpsi}$, debido a la selección del acero ASTM A36.
- ✓ Se tiene una relación de esbeltez $\frac{KL}{r} = 50$, en la Tabla 14 se puede observar que corresponde a $F_a = 18.350 \text{ ksi}$.

Ilustración 24. Longitud efectiva de las columnas.

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo		Rotación y traslación impedidas				
		Rotación libre y traslación impedida				
		Rotación impedida y traslación libre				
		Rotación y traslación libres				

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO.

AUTOR: MCCORMAC.

Tabla 14. Esfuerzo Permisibles de columnas ($F_y = 36$ ksi).

$\frac{KL}{r}$ ratio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fa	21,560	21,520	21,480	21,440	21,390	21,350	21,300	21,250	21,210
10	21,160	21,100	21,050	21,000	20,950	20,890	20,830	20,780	20,660
20	20,600	20,540	20,480	20,410	20,350	20,280	20,220	20,150	20,010
30	19,940	19,870	19,800	19,730	19,650	19,580	19,500	19,420	19,270
40	19,190	19,110	19,030	18,950	18,860	18,780	18,700	18,610	18,440
50	18,350	18,260	18,170	18,080	17,990	17,900	17,810	17,710	17,530
60	17,430	17,330	17,240	17,140	17,040	16,940	16,840	16,740	16,530
70	16,430	16,330	16,220	16,120	16,010	15,900	15,790	15,690	15,470
80	15,360	15,240	15,120	15,020	14,900	14,790	14,670	14,560	14,320
90	14,200	14,090	13,970	13,840	13,720	13,600	13,480	13,350	13,100
100	12,980	12,850	12,720	12,590	12,470	12,330	12,200	12,070	11,810
110	11,670	11,540	11,400	11,260	11,130	10,990	10,850	10,710	10,430
120	10,280	10,140	9,990	9,850	9,700	9,550	9,410	9,260	8,970

FUENTE: ESPECIFICACIÓN ANSI/AISC 360 -1 0 PARA CONSTRUCCIONES DE ACERO.

El área de la sección se determinaría de la siguiente manera [22]:

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

Ecuación 6.

Área de sección

Donde:

- ✓ A = Área de sección
- ✓ P = Carga Aplicada = 9376.63 lbf
- ✓ F_a = Esfuerzo Permisible de la columna= 18350 psi

Se utiliza la Ecuación 6 para calcular el área de sección para la selección del tubo cuadrado, por lo que se procede a resolver la ecuación siguiente:

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

$$A = \frac{9376.63 \text{ lb}}{18350 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}}$$

$$A = 0.510988 \text{ pulg}^2 = 3.3 \text{ cm}^2$$

En base al área requerida y por la adquisición para las vigas se selecciona un Tubo Cuadrado de 50 x 50 x 3 como se puede apreciar en la Ilustración 23, el cual tiene las siguientes características.

Tubo 50x50x3

- ✓ $A_g = 5.61 \text{ cm}^2 = 0.86955 \text{ pulg}^2$
- ✓ $S_t = 4.48 \text{ cm}^2$
- ✓ r = Radio de Giro = 19.1 mm

Comprobación:

Como primer paso se define la Constante de Columnas utilizando la Ecuación 7 [45]:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

Ecuación 7.
Constante de
Columnas

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 30000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$C_c = 128.25$$

Donde:

- ✓ E = Módulo de elasticidad del Material A36, 30000 ksi.
- ✓ F_y = Límite de fluencia, 36 ksi, para Acero Estructural.

A continuación, se procede a definir la Relación de Esbeltez mediante el cálculo de la Ecuación 8 [45]:

$$R_e = \frac{KL}{r}$$

Ecuación 8.
Relación de
Esbeltez

$$R_e = \frac{0.65 * 825 \text{ mm}}{19.1 \text{ mm}}$$

$$R_e = 28.076$$

Acorde al manual de construcción en acero, se definido la Constante de Columna (C_c) y la relación de Esbeltez $\frac{KL}{r}$, donde realizar una comparación a través de la ecuación 9, obteniendo los siguientes datos [45]:

$$\frac{KL}{r} < C_c$$

Ecuación 9.
Comparación
de relación de
esbeltez y
Constante de
columna

$$28.076 < 128.25$$

Como se puede constatar la Relación de Esbeltez es mucho menor que la constante de Columna, debido a esto el manual de construcción en acero menciona la aplicación de la fórmula parabólica, que es la siguiente.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C_c^2} \right] * F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8C_c^3}}$$

Ecuación 10
Carga permisible

Donde:

- ✓ $\frac{KL}{r}$ = Relación de Esbeltez = 28.076
- ✓ C_c = Constante de Columna = 128.25
- ✓ F_y = Límite de fluencia, 36 ksi, para Acero Estructurales.
- ✓ F_a = Carga Permisible

Por lo que para calcular la carga permisible se emplea la Ecuación 10, que se presenta a continuación:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2C_c^2} \right] * F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8C_c^3}}$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(28.076)^2}{2(128.25)^2}\right] * 36 \text{ ksi}}{\frac{5}{3} + \frac{3(28.076)}{8 * 128.25} - \frac{(28.076)^3}{8(128.25)^3}}$$

$$F_a = \frac{35.137363 \text{ ksi}}{1.74745}$$

$$F_a = 20.11 \text{ ksi}$$

Según los cálculos de la Ecuación 10 se obtuvo una carga permisible $F_a = 20.11 \text{ ksi}$, en tanto que en la Tabla 14 da 20.08 ksi .

Una vez definida la Carga Permisible (F_a) y el Área de la Sección (A_g), se procede a establecer la Carga Calculada (P) a través de la Ecuación 11, donde se obtiene lo siguiente [22]:

$$P = F_a * A$$

Ecuación 11.
Carga Calculada

$$P_{\text{Calculada}} = 20110 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} * 0.86955 \text{ pulg}^2$$

$$P_{\text{Calculada}} = 17486.65 \text{ lb}$$

Finalmente se procede a comparar los valores obtenidos de las cargas calculadas con las Requeridas, la misma que se realiza con la Ecuación 12, obtenido como resultado los siguiente:

$$P_{\text{Calculada}} > P_{\text{Requerida}}$$

Ecuación 12.
Comparación de
carga calculada y
carga requerida.

$$17486.65 \text{ lb} > 9378 \text{ lb}$$

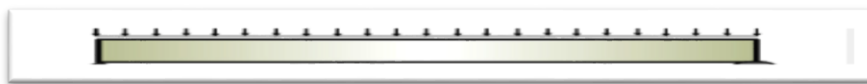
Como se observa que la Carga que soporta el material es superior al requerido se da por aceptado, la selección.

4.2.6. Placa base.

Por lo que la carga a definir es:

- ✓ Fuerza para doblar = 40651.31011 N
- ✓ Carga de elementos = 107.84 kg
- ✓ Peso de los elementos = $107.84 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1058 \text{ N}$
- ✓ Carga de la estructura = 50.097 kg
- ✓ Peso de la estructura = $50.097 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 491.45 \text{ N}$
- ✓ Carga total = $40651.31011 \text{ N} + 1058 \text{ N} + 491.45 \text{ N} = 42200.76 \text{ N} = 42.20 \text{ KN}$
- ✓ Largo de la placa = 150 mm
- ✓ Ancho de la placa = 150 mm
- ✓ Carga distribuida es = $281.33 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$
- ✓ Límite de fluencia 36 Kpsi = $24211000 \text{ Pa} = 248211000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 248211 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$,
debido a que se selecciona el acero ASTM A36.

$$q = 281.33 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$



Se inicia calculando el momento máximo utilizando la Ecuación 13 [46], donde se obtiene lo siguiente:

$$M = \frac{qL^2}{8}$$

Ecuación 13
Momento máximo.

$$M = \frac{281.4 \frac{\text{KN}}{\text{m}} * (0.150 \text{ m})^2}{8}$$

$$M = 0.79 \text{ KN} * \text{m}$$

El espesor de la placa en base a las dimensiones de la plancha, se realiza a través de la Ecuación 14, obteniendo como resultado lo siguiente:

$$t_p = \sqrt{\frac{6 * M_{\max}}{B * F_y}}$$

Ecuación 14.
Espesor de la
placa.

$$t_p = \sqrt{\frac{6 * 0.79 \text{ KN} * \text{m}}{0.15 \text{ m} * 248211 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}}$$

$$t_p = 0.01128 \text{ m} = 11.28 \text{ mm}$$

Con los resultados obtenidos la placa base tendrá los siguientes parámetros que son:

H: 150 mm; B: 150 mm; t: 12 mm

4.2.7. Aspectos importantes del banco de pruebas.

Los aspectos principales de este equipo están diseñados por las siguientes condiciones, la cual se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 15. Aspectos importantes del banco de pruebas.

Características	Valores	Unidades
Fuerza de para doblar	40651,3	N
Fuerza de diseño	60976,97	N
Capacidad de carga	8	Ton
Presión de trabajo	0 - 3000	PSI
Módulo de sección de la viga	4,48	cm ³

área de sección	5,61	cm ²
radio de giro	1,91	cm ³
Viga	50x3	mm
Longitud de la viga	800	mm
Módulo de elasticidad del material A36	30000	ksi
Límite de fluencia del material A36	36	ksi
Módulo de sección de la columna	4,48	cm ³
área de sección	5,61	cm ²
radio de giro	1,91	cm ³
Columna	50x3	mm
Longitud de la columna	825	mm
Dimensión de la placa base	150x150	mm
Espesor de la placa base	12	mm
Dimensión de las placas de sujeción	500x800x10	mm
Dimensión de las placas de soporte	230x340x15	mm
Longitud del eje 12	605	mm
Lateral total	500	mm
Frontal total	800	mm
Altura total	1550	mm
Dimensión de la probeta	200x40x6	mm

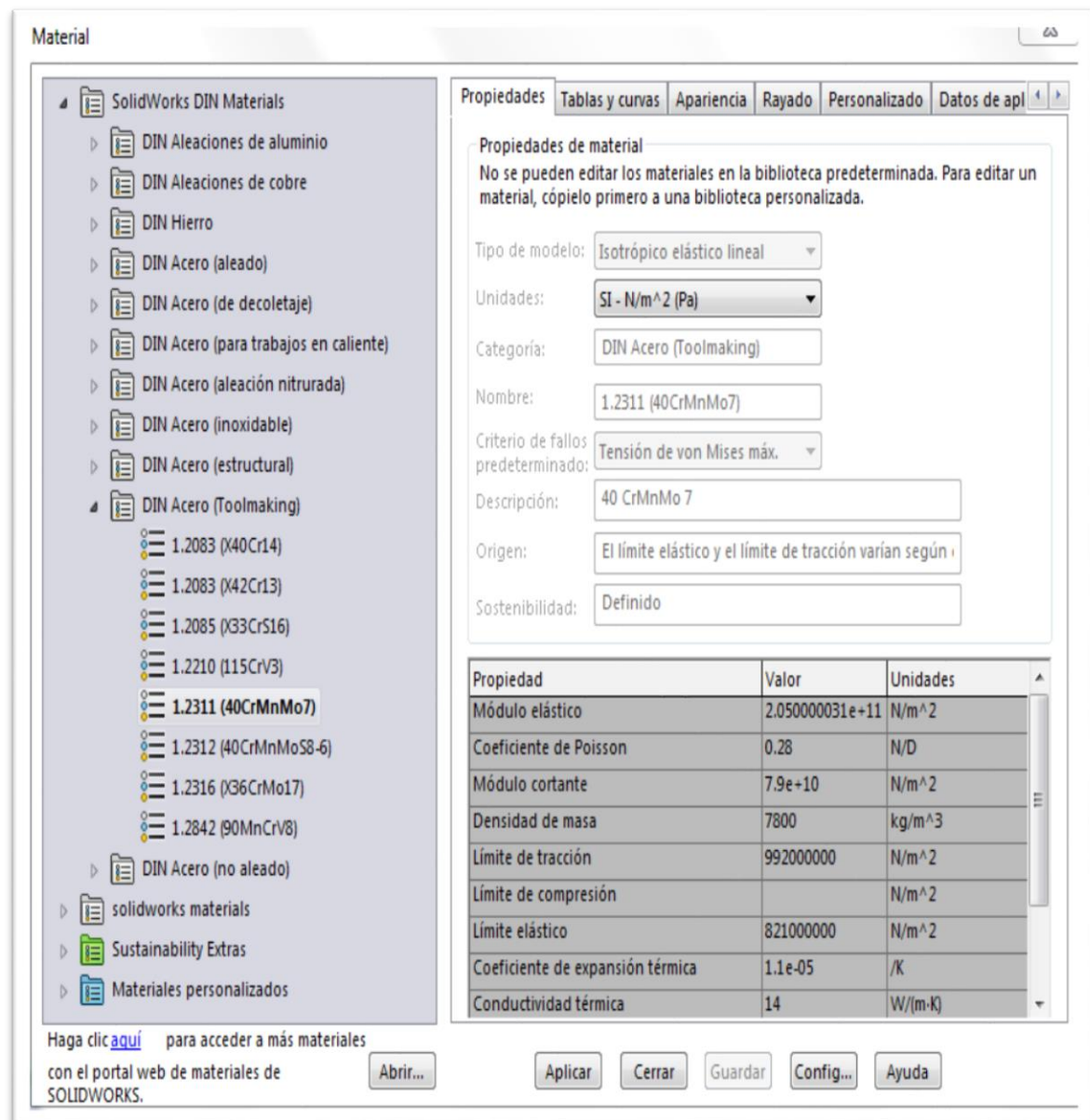
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.2.8. Análisis.

- Preprocesamiento

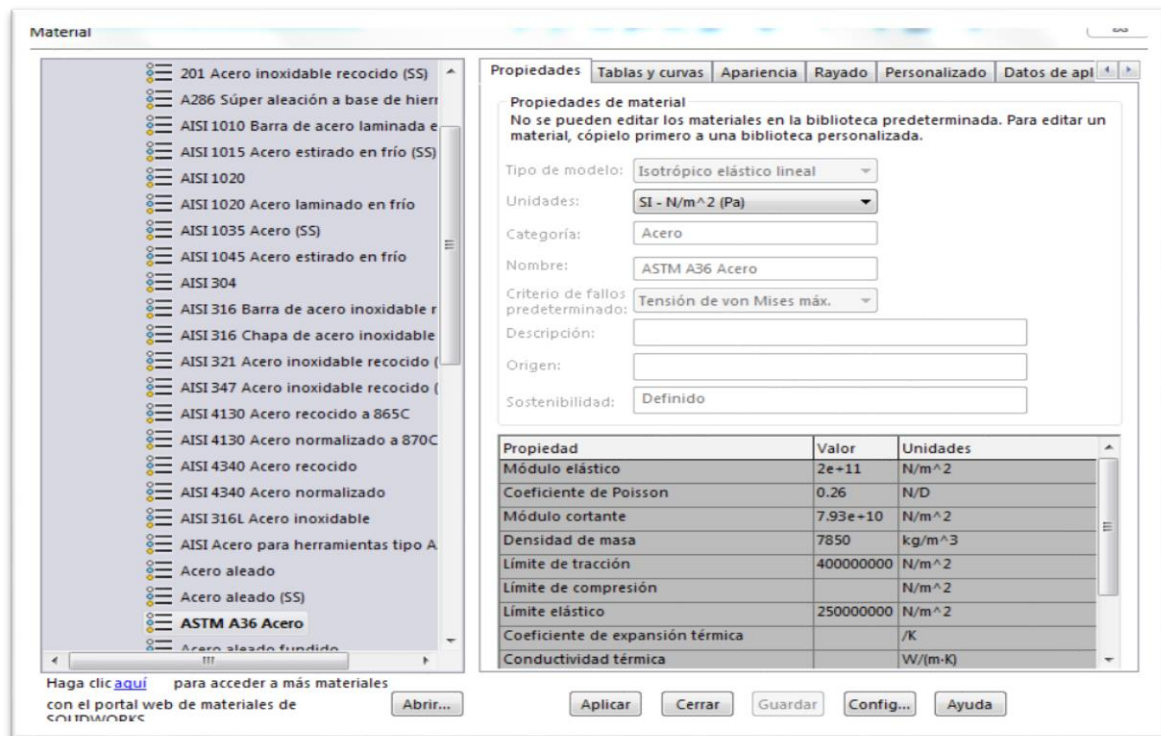
La selección del material se da en base al material planificado en adquirir como es el M201 (DIN 1.2311) y el ASTM A36 para la placa, el cual se puede observar en las Ilustración 25, Ilustración 26.

Ilustración 25. Selección del material M201.



FUENTE: SOLIDWORKS.

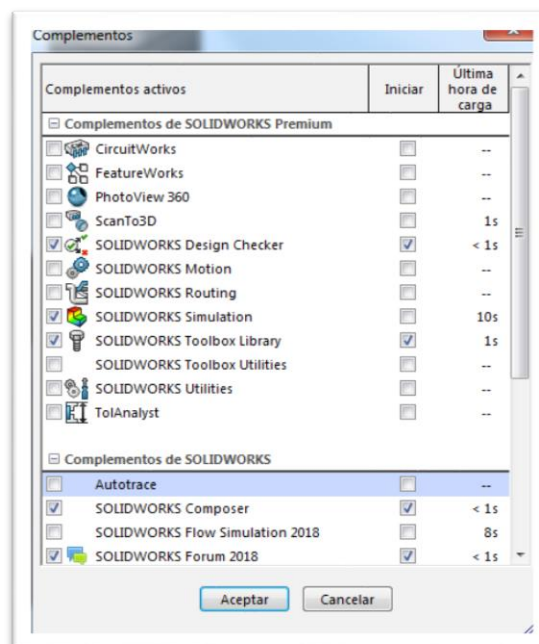
Ilustración 26. Selección del material ASTM A36.



FUENTE: SOLIDWORKS.

A continuación, se procede a seleccionar el tipo de estudio, al cual se lo debe activar.

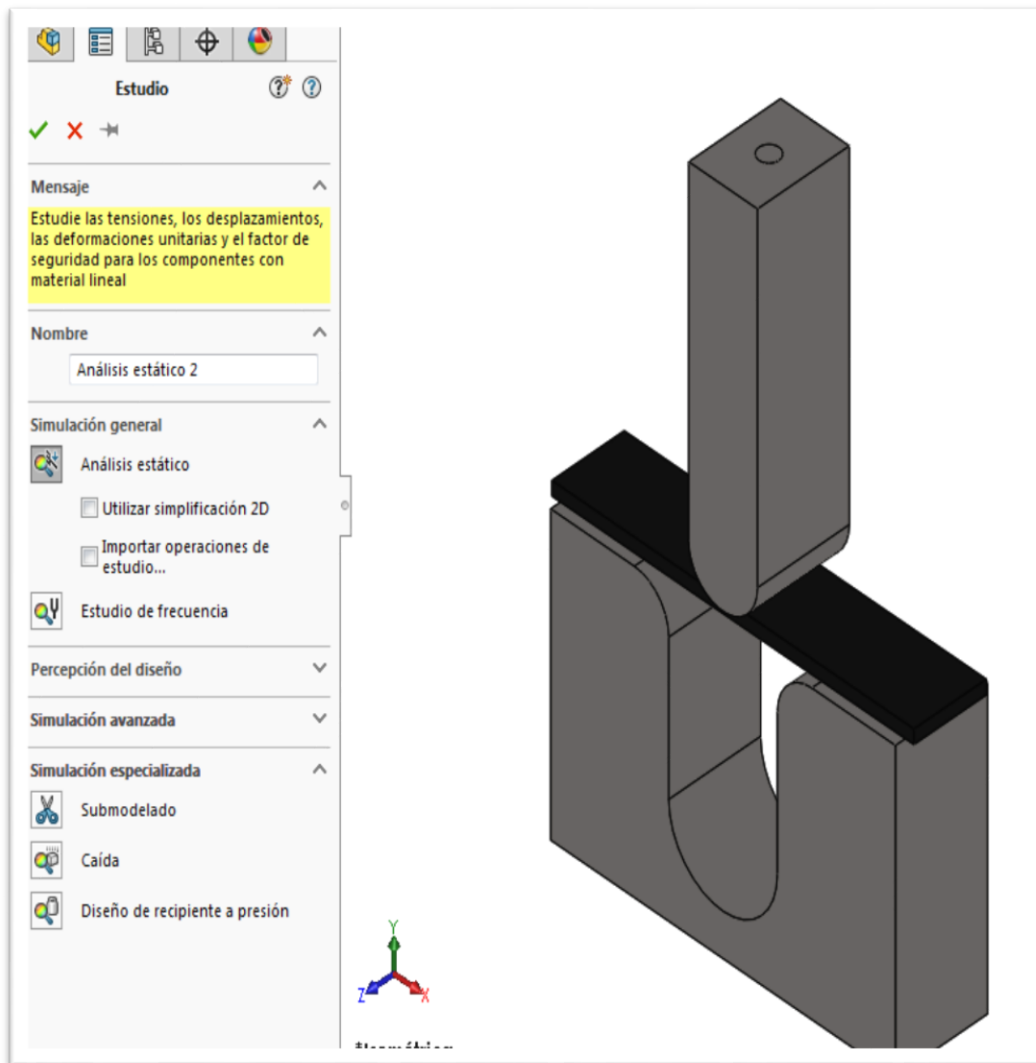
Ilustración 27. Activación de complemento.



FUENTE: SOLIDWORKS.

El siguiente paso es seleccionar el tipo de estudio a ejecutar el cual es análisis estático.

Ilustración 28. Análisis estático.



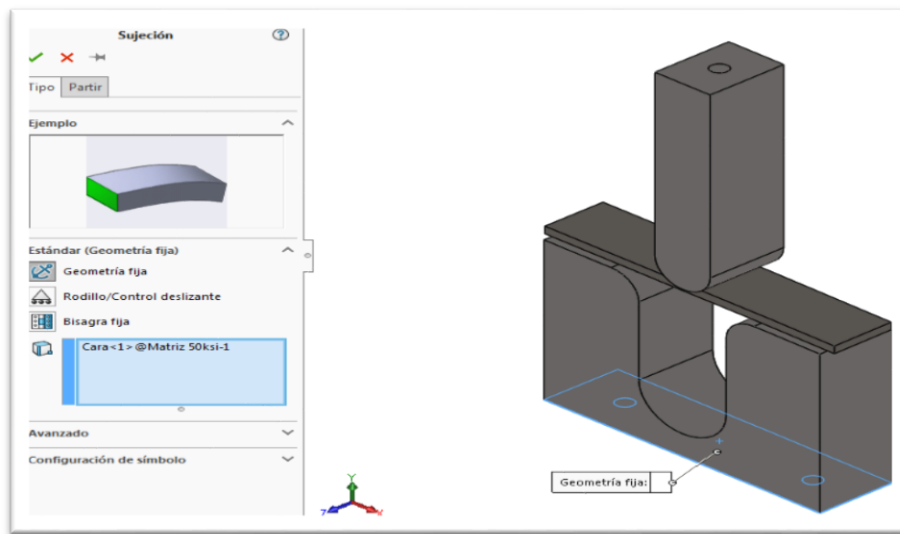
FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Una vez seleccionado el tipo de análisis o estudio a realizar, se procede a ubicar los parámetros de contorno, como se lo detalla a continuación.

Se inicia definiendo las sujeciones, las cuales deben estar ubicadas en forma similar a la realidad como es en la base de la matriz, como geometría fija, porque esta va a permanecer inmóvil.

Ilustración 29. Aplicación de sujeción.

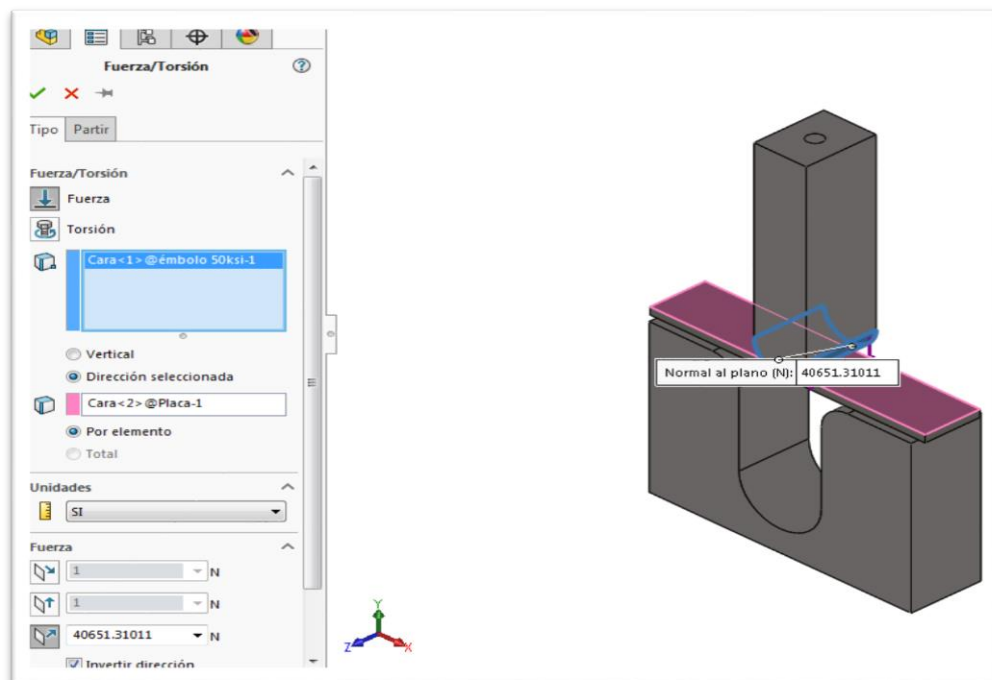


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

EL siguiente paso es aplicar las cargas la cual va ubicada sobre el émbolo, la misma que es de 40651.31011 N, en forma vertical.

Ilustración 30. Aplicación de fuerzas.

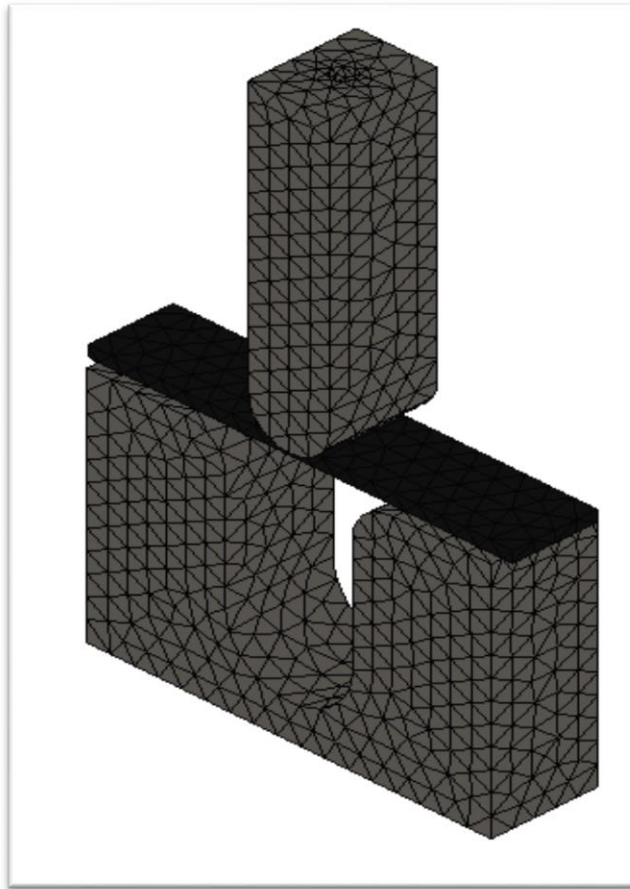


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Finalmente se procede al mallado como se observa a continuación.

Ilustración 31. Mallado del conjunto.



FUENTE: SOLIDWORKS.

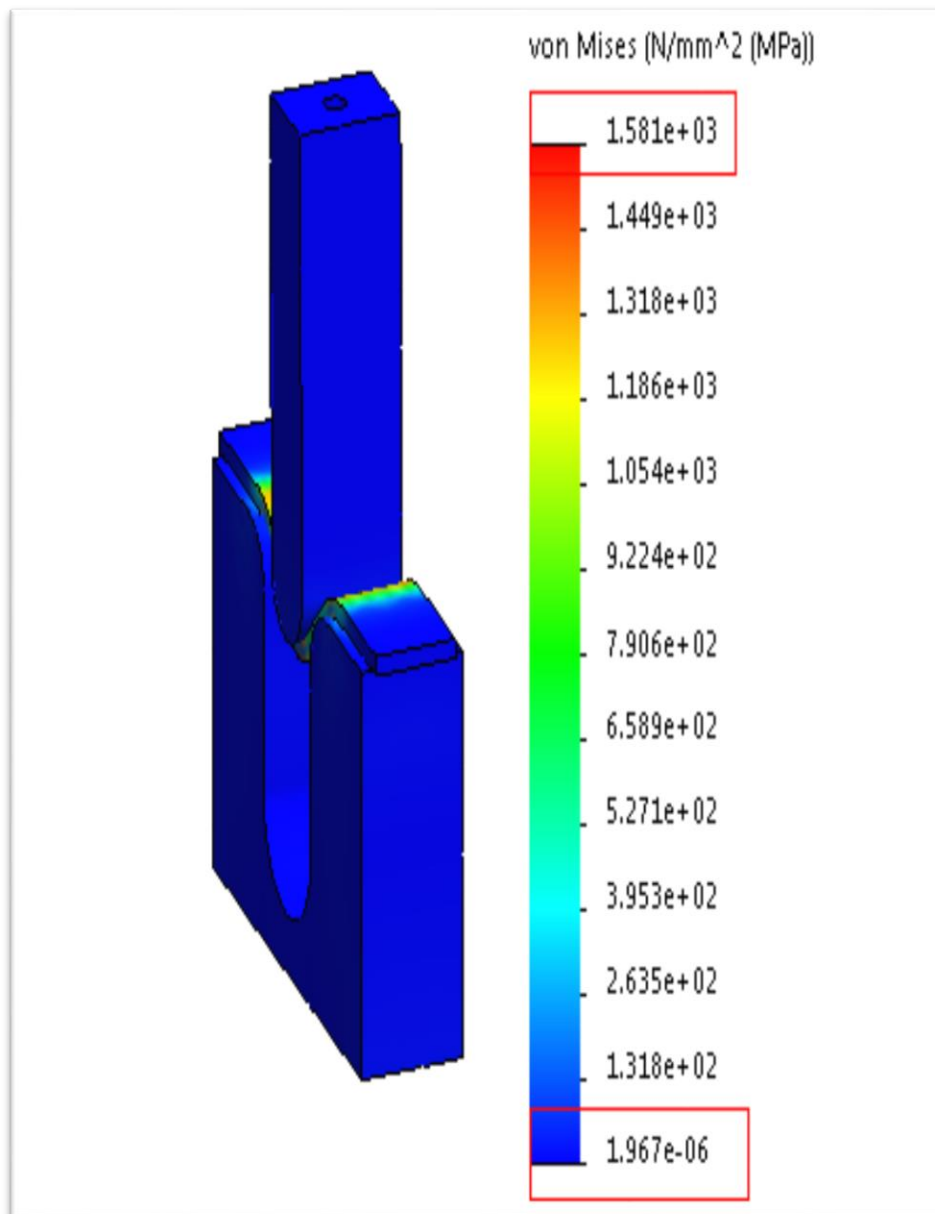
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

- Post procesado

4.2.8.1. Análisis estático de la Placa, émbolo y matriz.

Según el análisis de tensiones se determina que en las placas genera hasta 1581 MPa, mientras que en el émbolo y matriz llega a 0.000002 MPa, dado como aceptable el análisis.

Ilustración 32. Análisis Estático de Tensiones del conjunto.



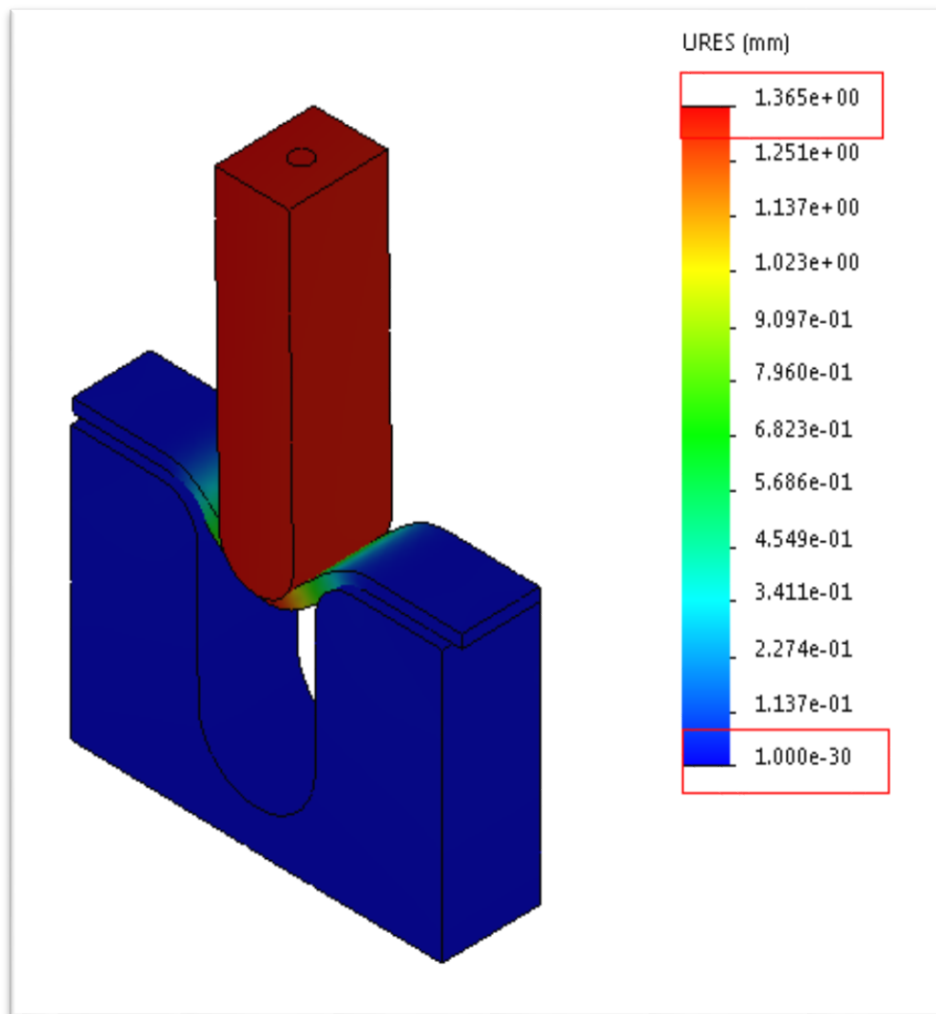
FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

- Análisis de deformación

Este tipo de análisis en mm, según los datos originados la deformación máxima que se da por desplazamiento es de 1.365 mm, mientras que la mínima es de 1×10^{-30} mm.

Ilustración 33. Análisis de deformación.



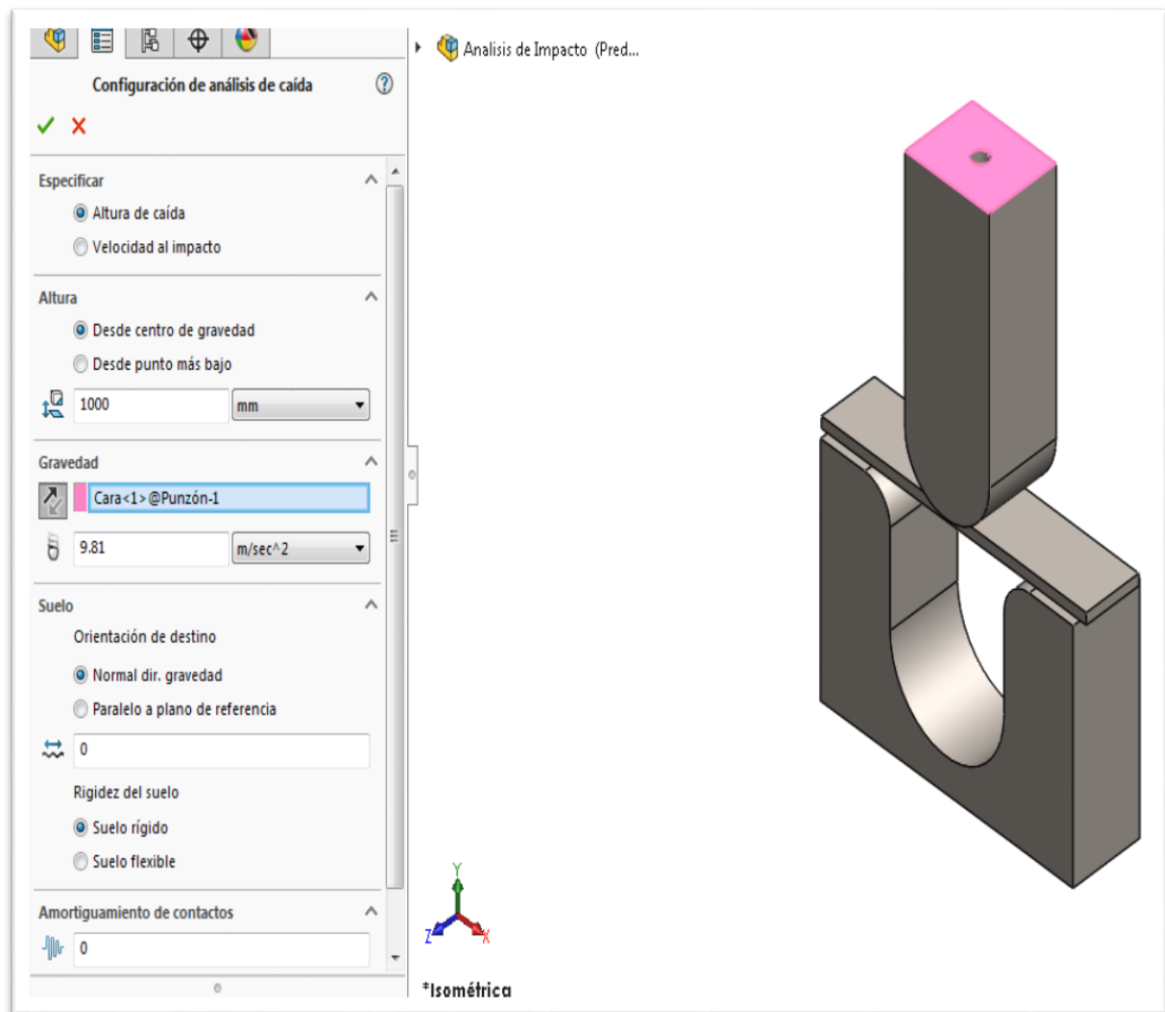
FUENTE: SOLIDWORKS.
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

✓ **Análisis por caída**

EL análisis por caída se da de la siguiente manera:

1. Modelado geométrico
2. Elección del análisis de caída
3. Mallado del conjunto
4. Configuración, donde se ubica la gravedad

Ilustración 34. Configuración del conjunto.



FUENTE: SolidWorks

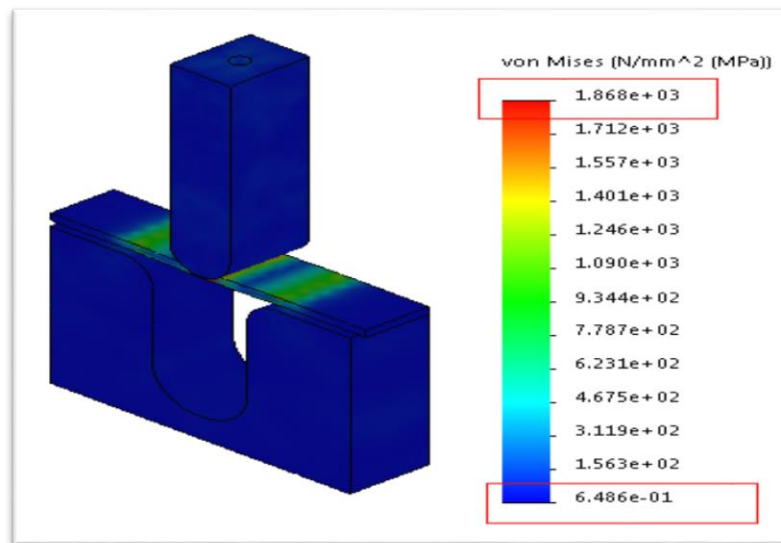
AUTOR: Sinmaleza Carlos [2021]

RESULTADOS

Análisis de caída de la Placa, punzón y matriz.

Según el análisis de tensiones se determina que la placa genera un esfuerzo de hasta 1868 MPa, mientras que el émbolo y en la matriz llega a 0.65 MPa, dando como aceptable el análisis.

Ilustración 35. Análisis de caída de tensiones del conjunto.



FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

4.2.8.2. Análisis estático de la estructura.

El análisis estático se da de la siguiente manera:

1. Se inicia con el modelado geométrico.

Ilustración 36. Modelado geométrico de la estructura.

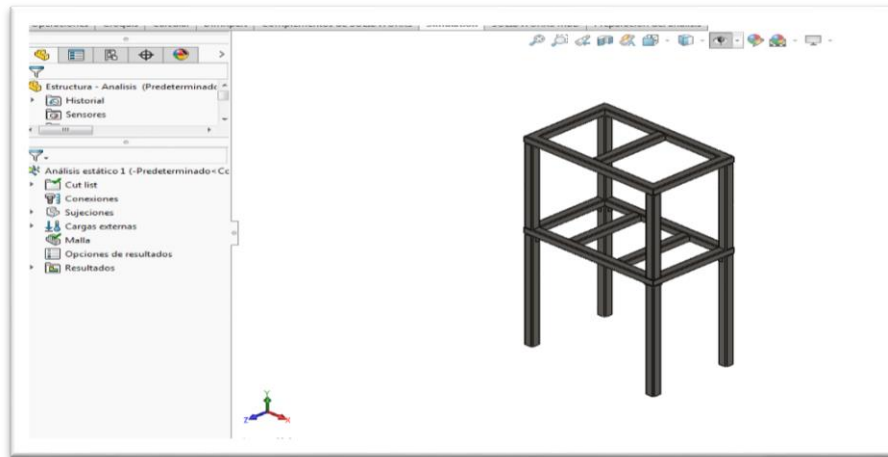


FUENTE: SOLIDWORKS

AUTOR: SINMALEZA CARLOS

2. Una vez definido el modelado geométrico se procede a la elección del análisis, el cual se inicia con el estático.

Ilustración 37. Elección de análisis estático para estructura.

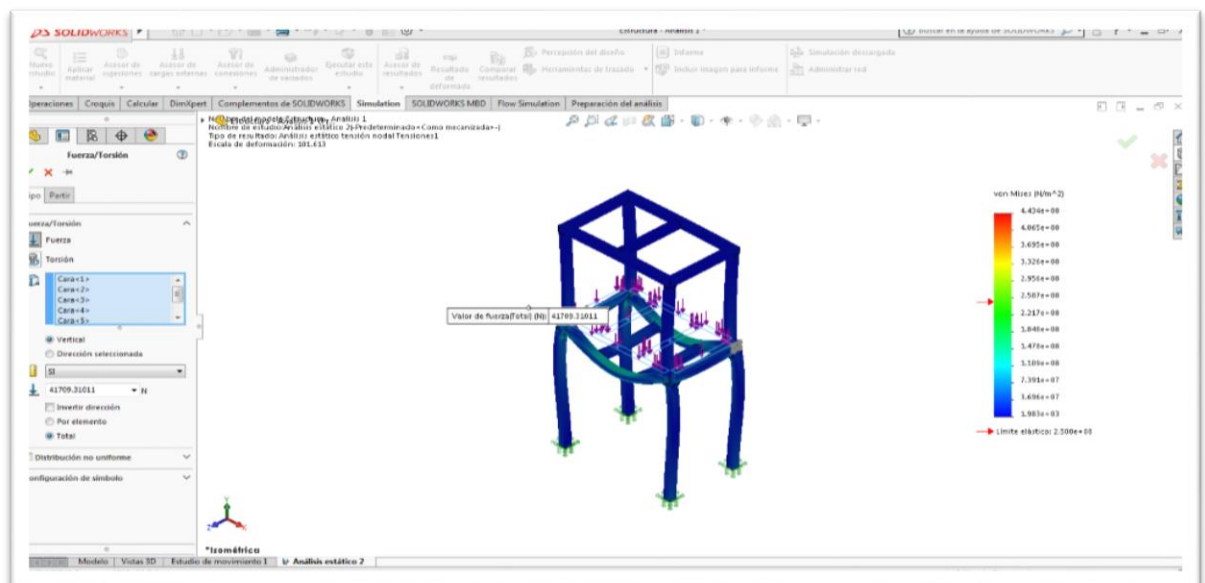


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

3. El siguiente paso es la ubicación de las condiciones de contorno, donde las sujeciones son fijas y ubicadas en las patas de las columnas, y las fuerzas que son de 41709.31011 N, las cuales son definidos en la columna.

Ilustración 38. Ubicación de condiciones de contorno de la estructura.

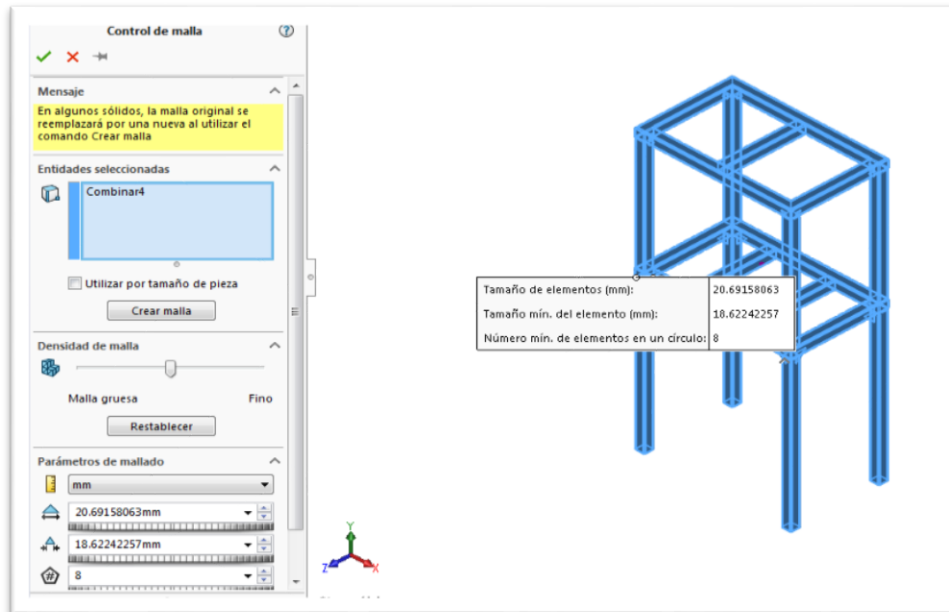


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

4. A continuación, se procede al mallado donde sus parámetros son de 18.6 a 20.7 mm.

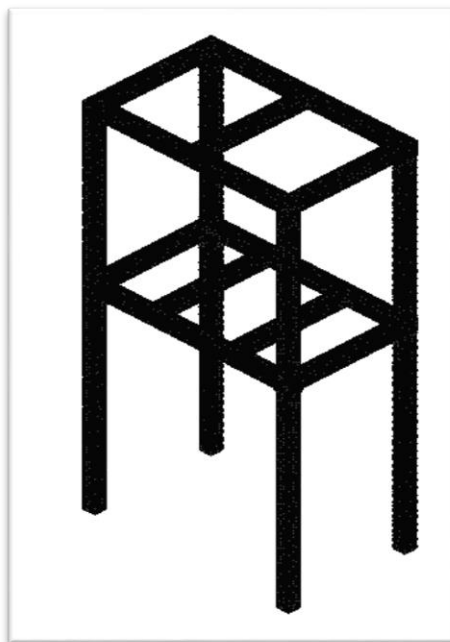
Ilustración 39. Control de mallado.



FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 40. Mallado de estructura.

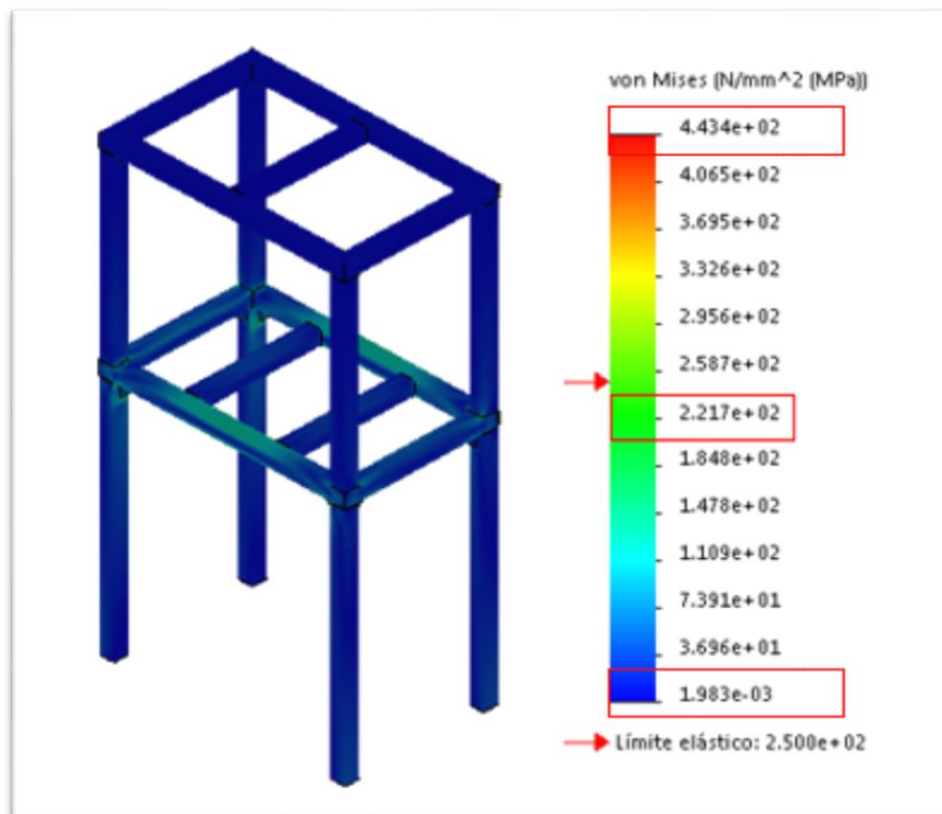


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

En el análisis de tensiones, por von Mises, se obtiene un esfuerzo promedio de 221.7 MPa, donde la mayoría de las partes se encontrarán en la zona azul, y existen bastantes partes que se encontraran en el límite, y el límite elástico está sobre este límite lo que indica que a lo mucho se podría doblar unas milésimas porque el material va a resistir para pasar al límite plástico, pero se va a trabaja con un esfuerzo de 221. 7 MPa, mediante la escala de colores, se obtiene un esfuerzo máximo de 443,4 MPa, la simulación indica que existen esfuerzos máximos en pequeños puntos, pero estos no afectan a la estructura en gran medida debido a que la mayoría de las partes presentan esfuerzos menores a 221.7 MPa, el esfuerzo mínimo encontrado en la estructura es de 0.001983 MPa, y estos esfuerzos son menor al esfuerzo de fluencia del material, por lo que la estructura soportara las fuerzas que se generan.

Ilustración 41. Análisis de Tensiones de la Estructura.

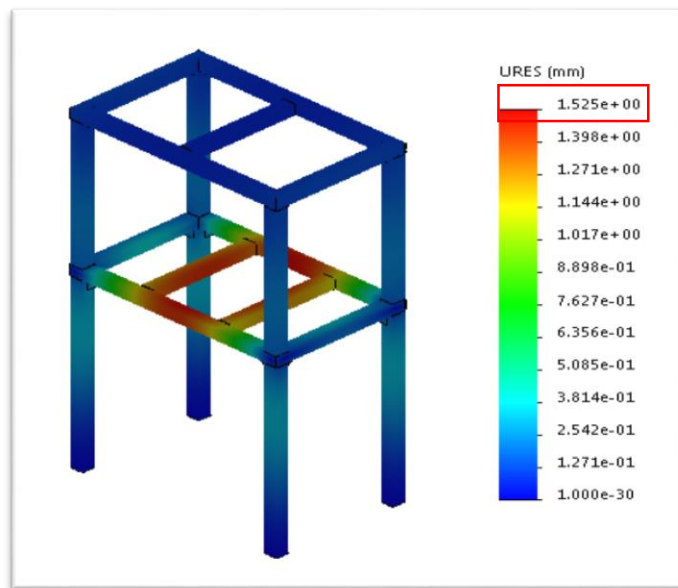


FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

En el análisis de desplazamiento, cuando está a plena carga el desplazamiento máximo que presentará la estructura es de 1.525 mm, con un color rojizo, en las vigas medias, la escala de colores, el cual da como aceptable.

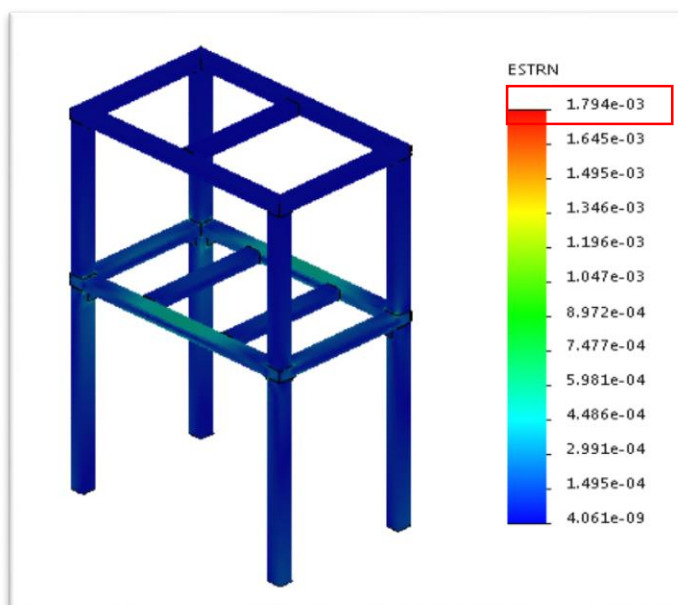
Ilustración 42. Análisis de Desplazamiento de la Estructura.



FUENTE: SOLIDWORKS
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

En el análisis de deformación unitaria, igual que el análisis de tensiones da un valor promedio de 0.001794 y mediante la escala de colores, de un color verdoso, el cual da como aceptable.

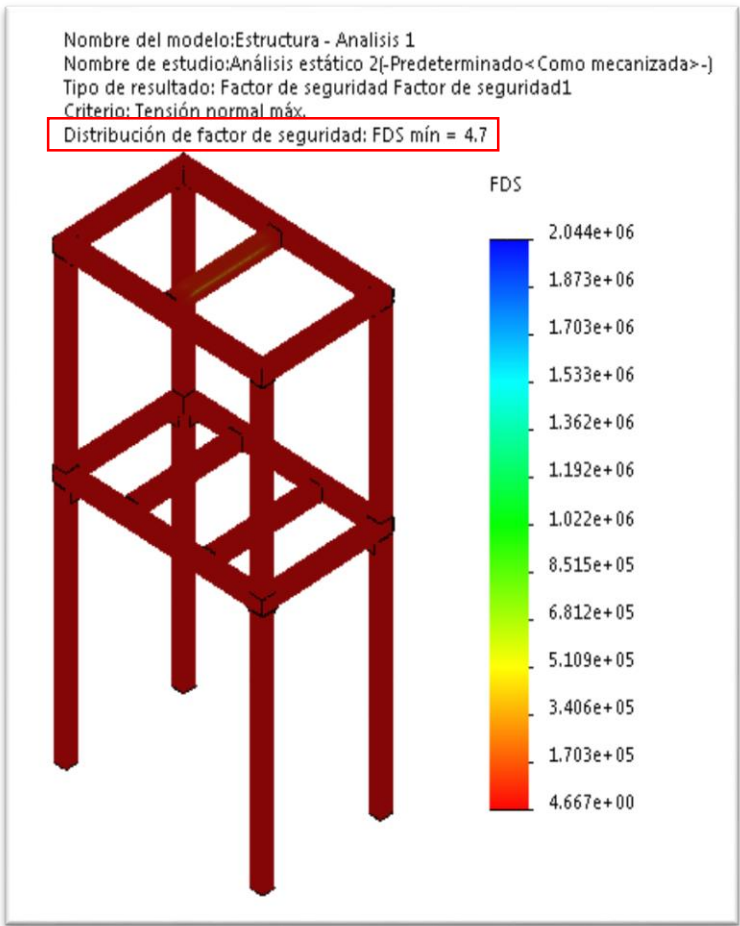
Ilustración 43. Análisis de Deformación Unitaria de la Estructura.



FUENTE: SOLIDWORKS
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

En el análisis de Factor de Seguridad, da 4.7, siguiendo con lo sugerido por Mott(2006) [24], útil para $FDS = 4$ recomendado para estáticas bajo cargas dinámicas.

Ilustración 44. Análisis de Factor de Seguridad de la Estructura.



FUENTE: SOLIDWORKS.

AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

4.3. Construir el banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas a través del ensayo de doblado según la norma AWS D1.1 2015.

Tabla 16. Materiales para construcción de la estructura.

Cantidad	Material
3	Tubo cuadrado de Acero ASTM A36 50x50x3 de 6 m

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Tabla 17. Materiales para matriz-émbolo y complementos.

Cantidad	Material
2	Placas de Acero ASTM A36 de 500x800 mm espesor de 10 mm
3	Placa de Acero ASTM A36 de 340x690 mm espesor de 15 mm
1	Eje de Acero AISI 1018 Ø12.7 de 3 m
2	Placa de Acero ASTM A36 de 150x150 mm espesor de 12 mm
1	Placa de Acero ASTM A36 de 40x120 mm espesor 7.5mm
1	Bronce Ø 25 mm largo 140 mm.
1	Placa de Acero Bohler M201 de 135x193 mm espesor de 50 mm
1	Placa de Acero Bohler M201 de 40x175 mm espesor de 50 mm

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.**Tabla 18.** Materiales para prueba de ensayo.

Cantidad	Material
1	Placa de Acero ASTM A36 de 200x250 espesor de 6.35 mm

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.**Tabla 19.** Equipos utilizados para la construcción de la máquina.

Cantidad	Equipos
1	Cortadora de plasma
1	Sierra eléctrica
1	Torno
1	Fresadora

1	Taladro de pedestal
1	Suelda eléctrica
2	Machuelos

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

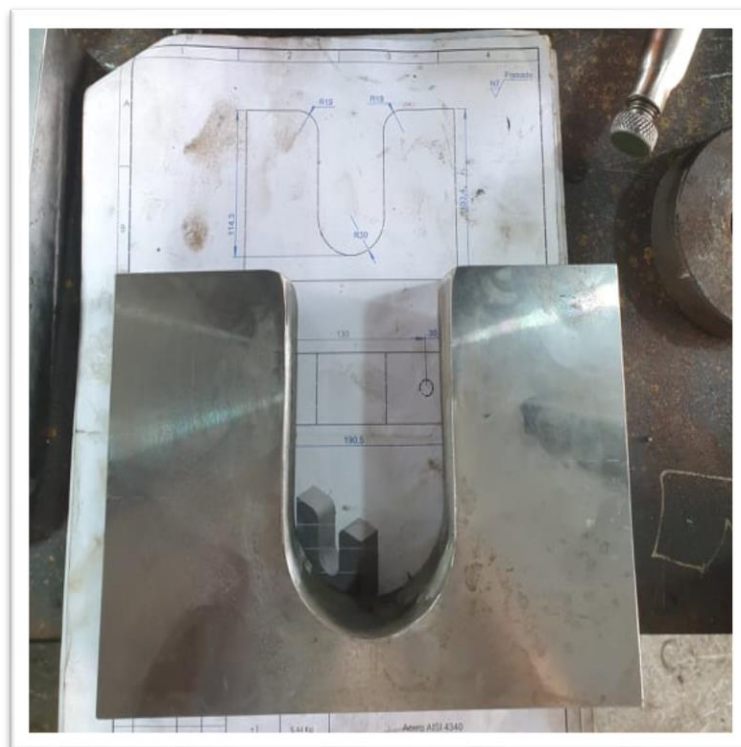
En la construcción del banco de pruebas donde se realizarán ensayos de dobles se utilizaron tubos cuadrados 50x3 de acero ASTM A36, para la estructura la cual cuenta con columnas y vigas las cuales fueron cortadas con cortadora eléctrica, todo este proceso fue realizado mediante la guía de planos, se añadieron refuerzos para mitigar los puntos críticos de esfuerzo que soportara la estructura, para las placas de sujeción se utilizaron planchas de Acero ASTM A36 que fueron previamente perforadas utilizando un taladro de mesa, con el propósito de centrar los agujeros que irán empernados con la placa inferior y placa porta émbolo, el material utilizado para el émbolo y la matriz fue de Acero Bohler M201 es un material muy resistente óptimo para el trabajo que realizará, el cual fue mecanizado cumpliendo con las especificaciones de la norma AWS D1.1.

Ilustración 45. Estructura del banco de pruebas.



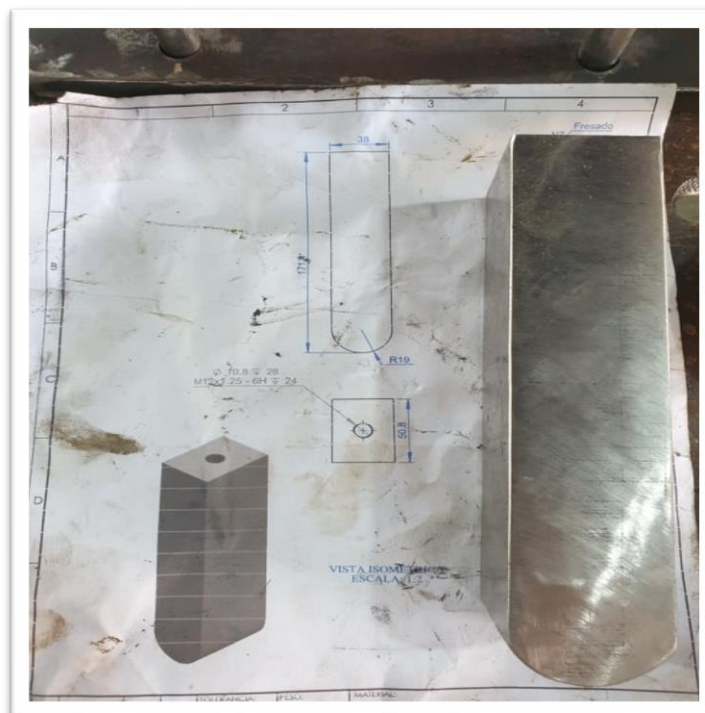
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 46. Mecanizado de la Matriz.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 47. Mecanizado del émbolo.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 48. Armado del Mecanismo de soporte de la matriz.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

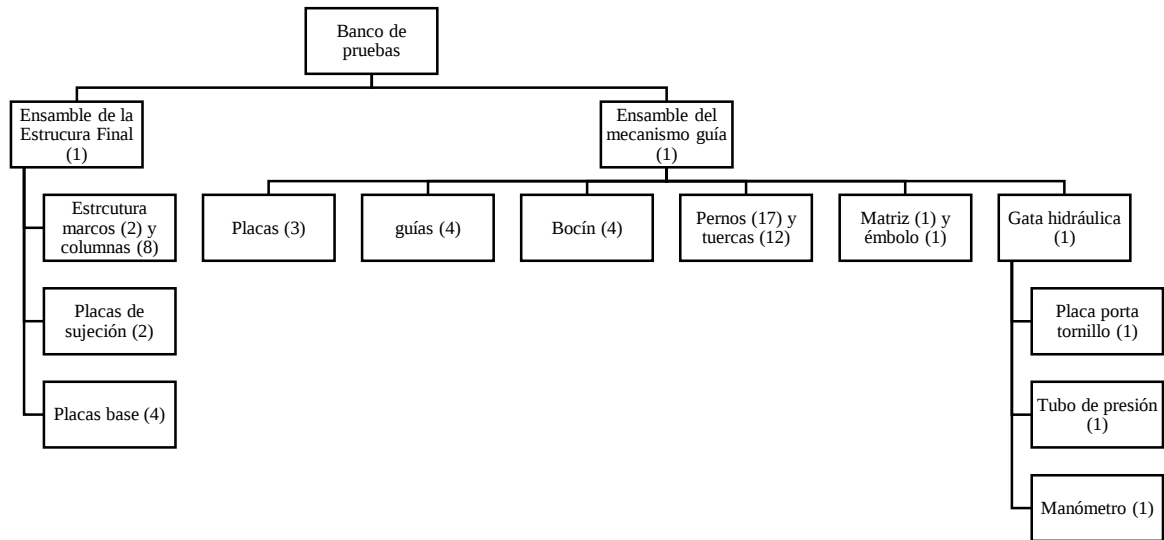
Ilustración 49. Banco de pruebas.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

4.3.1. Árbol de estructura del banco de pruebas

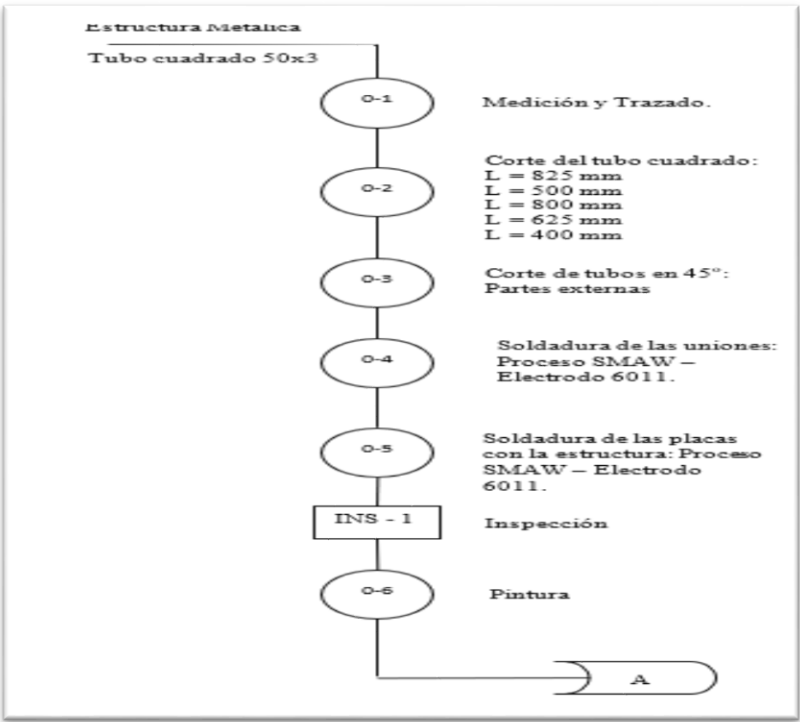
Ilustración 50. Árbol de estructura.



ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

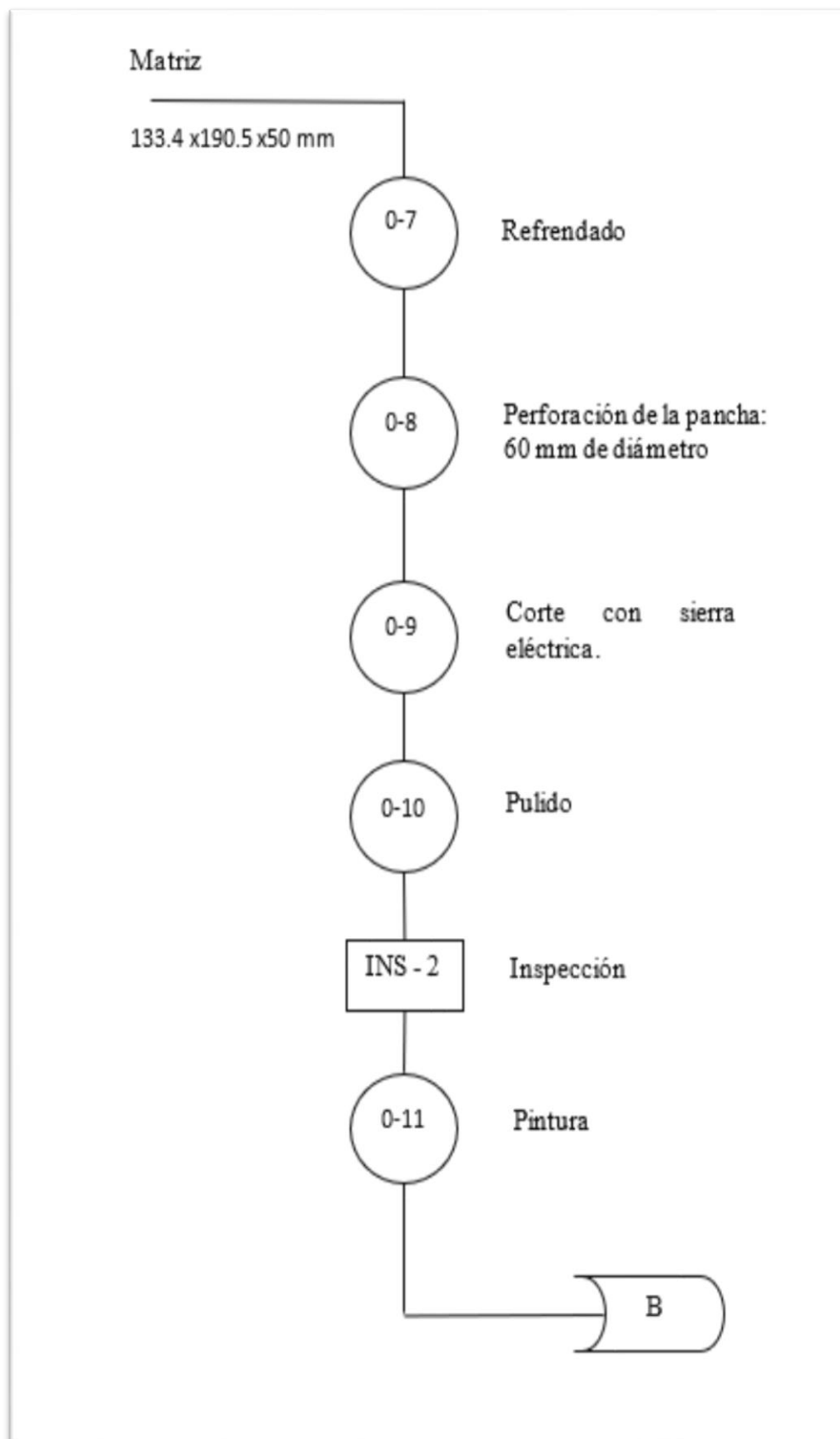
4.3.2. Proceso de construcción del banco de pruebas.

Ilustración 51. Diagrama de proceso de la estructura.



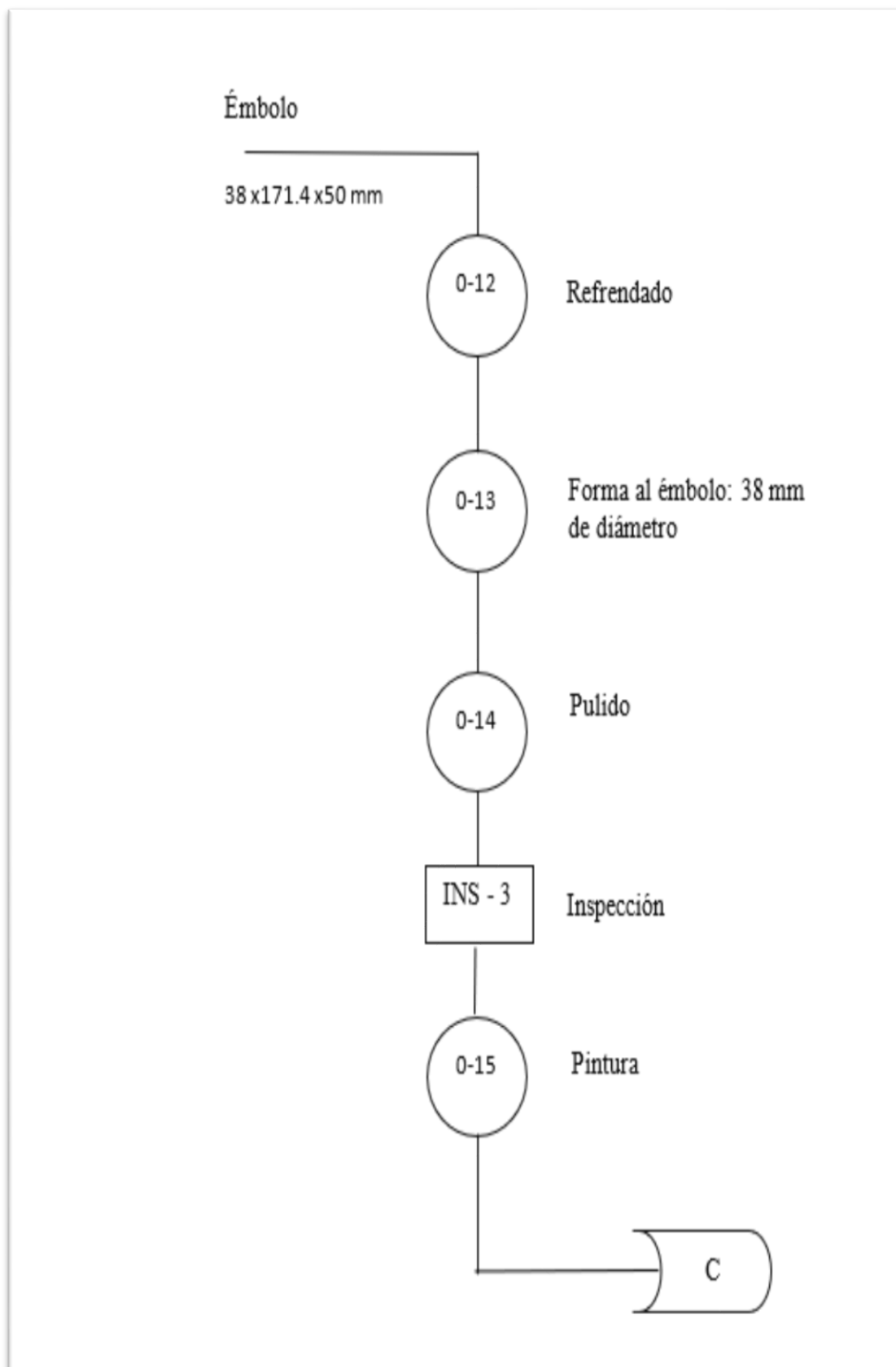
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 52. Diagrama de proceso de la matriz.



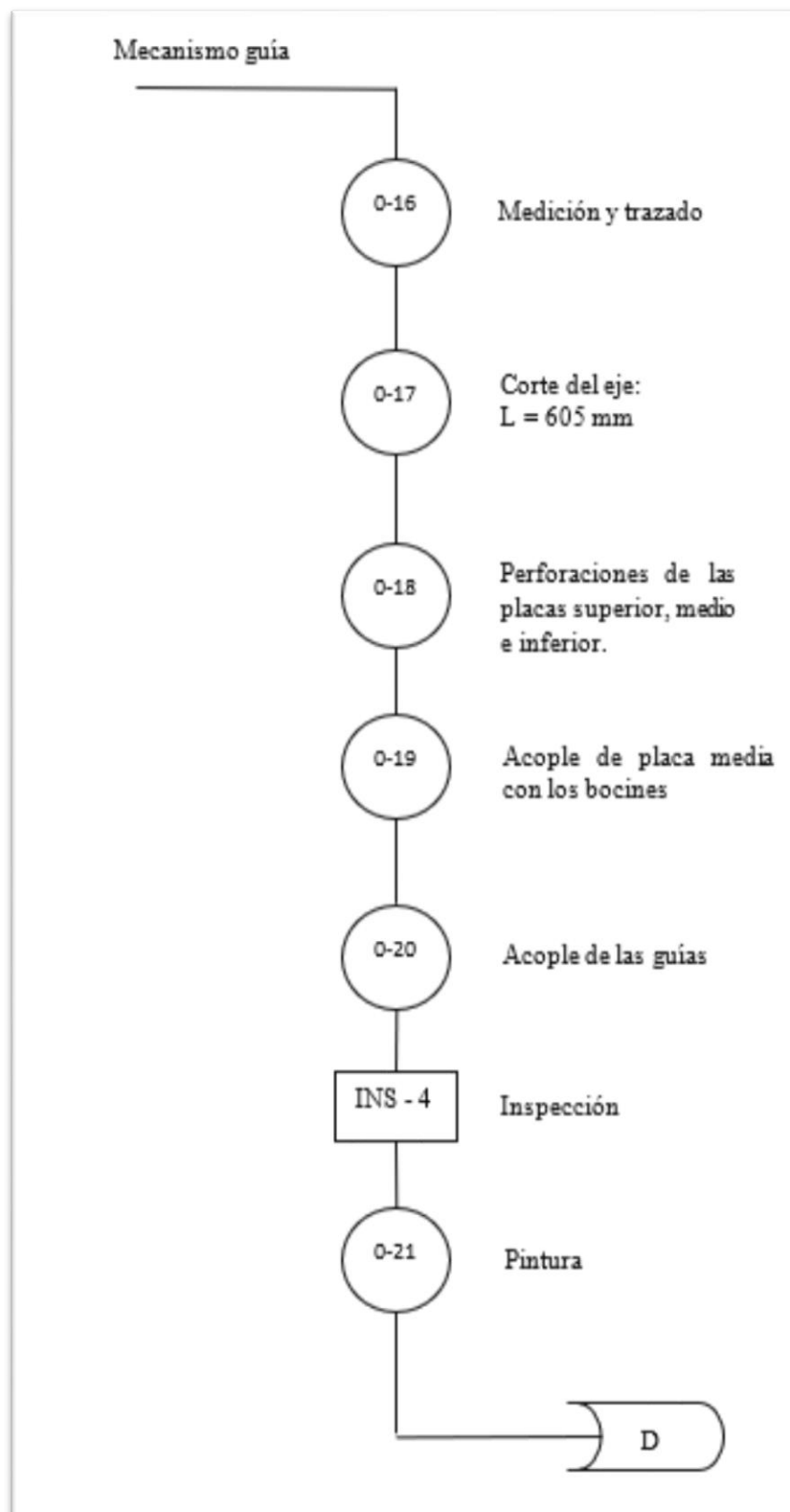
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 53. Diagrama de proceso del émbolo.



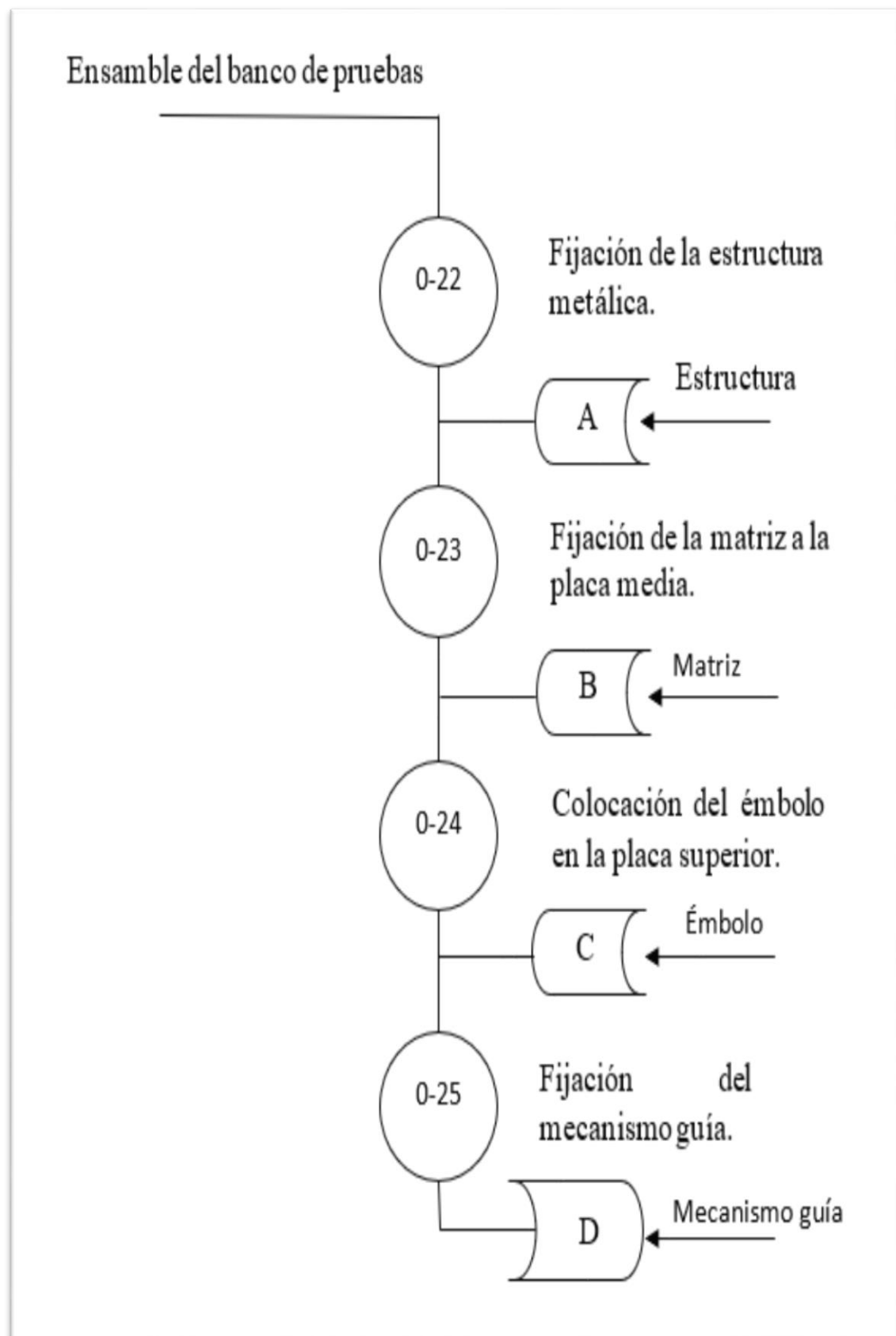
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 54. Diagrama de proceso del mecanismo guía.



ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 55. Ensamble completo del banco de pruebas.



ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.4. Ejecución de prueba de funcionalidad

Primero se obtendrá las probetas de un cupón de soldadura de ASTM A36 con dimensiones de 200 de ancho y 250 mm de largo con un espesor de 6.35 mm, donde se cortará para extraer la probeta la cual tendrá unas dimensiones de 45 mm de ancho y 200 mm de larga, posteriormente se pulirán para eliminar concentradores de esfuerzo y tener las dimensiones establecidas al comienzo de la fase de diseño las cuales son de 40 mm de ancho y 200 mm de largo, ya obtenida las probetas se procederá a realizar la prueba de funcionalidad del equipo.

Ilustración 56. Elaboración del cordón de soldadura.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 57. Cupón de soldadura.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 58. Trazado para la obtención de las probetas.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Posteriormente a la obtención del cupón de soldadura, se realizó el corte y extracción de las probetas las cuales fueron pulidas y preparadas, luego se procedió a realizar el ensayo de doblado.

Ilustración 59. Ensayo de la probeta parte inicial.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 60. Ensayo de la probeta parte intermedia.



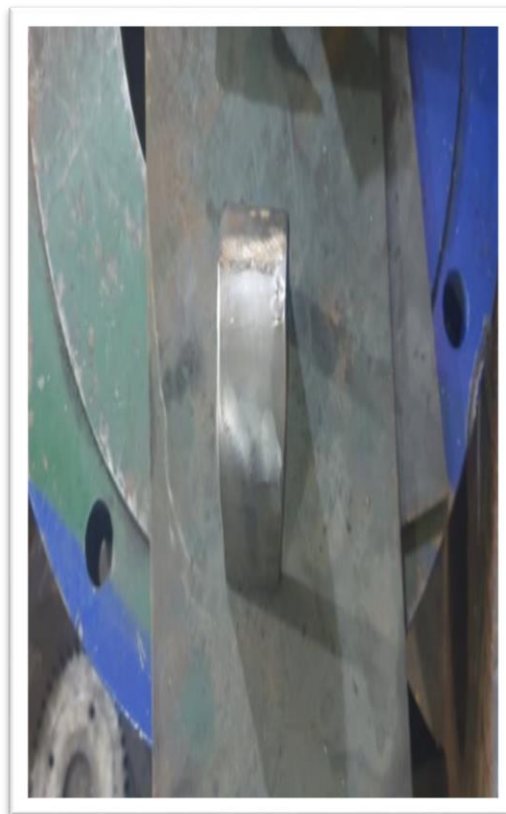
AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 61. Ensayo de la probeta parte final.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Ilustración 62. Resultado final.



AUTOR: SINMALEZA CARLOS.

Se comprobó el correcto funcionamiento del banco de pruebas cada una de sus partes cumplen con lo esperado, para realizar la prueba de funcionalidad se siguieron una serie de pasos, los cuales se detallarán a continuación con la elaboración de la guía de práctica.

4.5.Elaboración del proceso para la realización de la práctica de laboratorio del ensayo de doblado conforme a la norma AWS D1.1 y creación de la guía de práctica.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO	
	FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA	
	INGENIERÍA MECÁNICA	
	2021	
GUÍA DE PRÁCTICA DEL ENSAYO DE DOBLADO PARA EVALUACIÓN JUNTAS SOLDADAS SEGÚN LA NORMA AWS D1.1 2015.		

OBJETIVOS	GENERAL:	REALIZAR EL ENSAYO DE DOBLADO GUIADO PARA JUNTAS SOLDADAS SEGÚN LA NORMA AWS D1.1 2015.
	ESPECÍFICOS:	1. ELABORAR LAS PROBETAS ACORDES A LOS PARÁMETROS SUGERIDOS POR LA NORMA AWS D1.1 2015 PARA EL ENSAYO DE DOBLADO.
		2. DETERMINAR LA DUCTILIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS EN UNA PROBETA LA CUAL SE LE REALIZÓ UN ENSAYO DE DOBLADO.
		3. COMPROBAR A TRAVÉS DE INSPECCIÓN VISUAL LA CALIDAD DE LAS JUNTAS SOLDADAS.
FUNDAMENTO TEÓRICO-MATEMÁTICO (MARCO TEÓRICO)		
	FUNDAMENTO TEÓRICO	Ensayo de doblado guiado El ensayo de doblado o también conocido como plegado, utiliza un émbolo y una matriz en forma de U idóneo para realizar el doblado en probetas. El ensayo de doblado se emplea en frío o en caliente para chapas y cintas, con el objetivo de determinar la capacidad del metal de tolerar el doblado hasta un ángulo requerido, hasta que los dos planos sean paralelos, o hasta la coincidencia de las caras, después de pasar el ensayo las probetas no han de tener grietas. Así permitiendo familiarizarse con la plasticidad de los distintos materiales metálicos y como resultado familiarizarse con la manera en que se pueden utilizar dichos materiales. Norma AWS D1.1 Ensayo para doblado de raíz y cara. Se puede observar las probetas para doblado de cara y raíz, en la Ilustración 8, cada una de las probetas deben ser dobladas en una plantilla guía de doblado, que cumplan los requisitos establecidos por la norma AWS D1.1, se debe tener presente en evitar que no supere el radio máximo de doblado. Cualquier

	mecanismo puede ser usado para desplazar el émbolo con respecto a la matriz. Debe ser ubicada la probeta en la parte superior de la matriz, la parte de la soldadura estará en el centro. Las probetas utilizadas para doblado de cara tienen que ser ubicadas con la cara de la soldadura direccionadas hacia la abertura. Las probetas utilizadas para doblado de raíz tienen que ser ubicadas con la raíz de la soldadura direccionada hacia la abertura. El émbolo debe forzar a la muestra directo a la matriz y la misma tiene que adquirir su forma particular en U. La soldadura y las HAZ deben ser situadas simétricamente y ubicadas totalmente dentro de la parte doblada de la probeta posteriormente a la elaboración del ensayo. Cuando se usa la plantilla envolvente, la muestra debe estar sujeta, debidamente de manera para evitar que se deslice durante la operación de doblado. La soldadura y las HAZ tienen que estar totalmente ubicadas dentro de la parte doblada de la probeta. Se tiene que tener presente que las muestras tienen ser retiradas de la plantilla guía solamente si el rodillo externo se mueve 180° a partir del punto de apertura.
PROCEDIMIENTO	Materiales, instrumentos y equipos ✓ Banco de pruebas para ensayo de doblado guiado. ✓ Soldadora Eléctrica ✓ Probetas ✓ Pulidora

- ✓ Disco para cortar
- ✓ Disco para pulir

Procedimiento para la obtención de las probetas

En base AWS D1.1, como se muestra en el Anexo 17. Límites de espesores calificación del procedimiento y cantidad de probetas se establece que deben realizar 4 pruebas de doblado, 2 de cara y 2 de raíz.

Se procedió a realizar 4 probetas de doblado, realizadas acorde a lo estipulado por la norma AWS D1.1, y su ubicación se muestra en el Anexo 18.

1. Definir el material base, ver el Anexo 19.
2. Seleccionar el tipo de junta a realizar, ver el Anexo 20.
3. Realizar la soldadura del material, como se muestra en la Anexo 10.
4. Realizar el dimensionamiento de la placa de acuerdo a la Ilustración 8.
5. Posteriormente se procede a realizar el corte de las muestras de prueba con un equipo de corte con plasma.
6. Se procede a realizar un maquinado a las probetas para ajustar sus medidas específicas, y son las siguiente:

Las cuatro probetas tendrán una longitud de 200 mm, un ancho de 40 mm, y un espesor de 6.35 mm.

Procedimiento del doblado

1. Preparar el equipo, debe encontrarse en las condiciones iniciales, la matriz y el émbolo separados como lo muestra la Anexo 8.

	- Colocar la probeta sobre la matriz acorde al tipo de ensayo a realizar, sea este de cara o raíz, si es de raíz, la raíz de la soldadura debe estar ubicada hacia la abertura de la matriz, y si es de cara debe seguir el mismo principio. - Posteriormente se aplica fuerza con la gata hidráulica, para elevar la matriz hasta el émbolo como se muestra en la Anexo 12. - Cerciore que el émbolo esté sobre la zona de la soldadura. - Luego de haber cerciorado que la probeta está bien ubicada, se procede a elevar la matriz hasta que deforme la probeta en forma de U, como se presenta en las Anexo 13, Anexo 14, Anexo 15. - Baje la matriz con cuidado y tome la probeta, ver Anexo 16. - Proceda a realizar la inspección de la probeta acorde a los criterios de aceptación, establecidos en la guía. Realice para cada una de las probetas del mismo modo, teniendo en cuenta que acorde al tipo de ensayo debe ubicar la cara o la raíz de la soldadura en la abertura de la matriz. Criterios de aceptación para los ensayos de doblado Se tendrá que realizarse una examinación visual de la superficie convexa de la muestra de ensayo para hallar las discontinuidades que pueden presentarse en la superficie. El criterio de aceptación señala que la superficie no tiene que presentarse discontinuidades que sobrepasen las dimensiones mencionadas a continuación: - La discontinuidad no debe superar los 3 mm, dimensión en cualquier orientación sobre el plano. 10 mm, resultando el total de la sumatoria de las más grandes dimensiones de todas las discontinuidades que superen el 1 mm, pero menor o igual a 3 mm.
--	--

	3. 6 mm, la fisura máxima en las aristas de la muestra, supera debido a que la fisura se convierte a una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad con semejanza debido a la combinación, por lo tanto, tiene que emplearse la medida límite de 3 mm. 4. Las muestras con fisuras que se visualice en las esquinas y superen los 6 mm, sin certeza de que existan inclusiones de escoria o presenten otras discontinuidades debido a fusión, tienen que ser retiradas y se tiene que reemplazar con una probeta igual a la obtenida en la soldadura original. Actividades del laboratorio. ✓ Realizar las WPS “Especificación del procedimiento de soldadura. ✓ Calificar la habilidad del soldador acorde a los criterios de aceptación.	
RECOMENDACIONES	1. Seguir el procedimiento para ejecutar un ensayo correcto. 2. Utilizar equipo de protección personal acorde a la práctica. 3. Al terminar el doblado de la probeta bajar la matriz con precaución.	
BIBLIOGRAFÍA	• AWS D1.1/D1.1M:2015.	
REALIZADO POR	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
	Sinmaleza Monar Carlos Andrés	

4.6. Presupuesto referencial.

Se realiza un estudio de los costos generados en la construcción, manufactura y ensamble del banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas. Estos materiales y elementos mecánicos fueron obtenidos de varias empresas a nivel local y nacional.

4.6.1. Costo de los materiales.

Se realiza el desglose de todos aquellos materiales que fueron utilizados para la elaboración de las partes del banco de pruebas, como pueden ser tubos estructurales, planchas y ejes, se detalla el costo de cada uno de ellos y la cantidad que se utilizó en la elaboración del banco de pruebas.

Tabla 20. Costo de los materiales.

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	TOTAL
3	Tubo cuadrado 50mmx3mm (ASTM A36)	u (6 metros)	29.07	87.21
2	Placa 500x800 mm en 10 (ASTM A36)	Unidad	42.05	84.10
3	Placa 230x340 mm en 15 (ASTM A36)	Unidad	12.31	36.94
4	Placa 150x150 mm en 12 (ASTM A36)	Unidad	3.19	12.76
1	Ejes Ø12.7 mm (AISI 1018)	u (3 metros)	7.30	7.30
1	Bronce Ø25 mm	u (0.14 metro)	20.00	20.00
1	Placa 40x175 mm en 50 (acero Bohler N201)	Unidad	17.50	17.50
1	Placa 135x193 en 50 (acero Bohler M201)	Unidad	55.00	55.00

1	Placa 60x120 en 8mm (acero ASTM A36)	Unidad	2.5	2.5
SUBTOTAL				323.31

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.2. Costos de elementos mecánicos

Son elementos que generan la unión entre los componentes mecánicos de la máquina. A continuación, se detallan los costos en la siguiente tabla:

Tabla 21. Costos de elementos mecánicos.

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	TOTAL
1	Gata hidráulica	Unidad	59.00	59.00
1	Manguera	Metro	23.00	23.00
1	Manómetro	Unidad	26.00	26.00
4	Tuerca M8x1.25	Unidad	0.20	0.80
4	Perno M8x1.25x45	Unidad	0.3	1.2
8	Tuerca M12x1.75	Unidad	0.3	2.4
8	Perno M12x1.75x45	Unidad	0.9	7.2
1	Perno M12x1.75x40	Unidad	0.85	0.85
2	Perno M12x1.75x35	Unidad	0.80	1.60
2	Perno M5x0.8x30	Unidad	0.25	0.25
SUBTOTAL				122.55

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.3. Costos de elementos varios.

A continuación, se especifican los materiales complementarios para la construcción del banco de pruebas para evaluación de juntas soldadas.

Tabla 22. Costos de elementos varios.

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	TOTAL
2	Electrodo E 6011	(40 unidades)	17.60	35.2
2	Lija de hierro #100	Unidad	0.66	1.32
1	Thinner	Galón	5.71	5.71
1	Pintura anticorrosiva	Litro	3.57	3.57
1	Pintura para acabado	Litro	5.54	5.54
1	Disco de corte	Unidad	5.00	5.00
1	Disco de pulir	Unidad	5.00	5.00
SUBTOTAL				61.34

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.4. Costo de las probetas.

Esta tabla presenta el costo generado por el que se utilizó para las probetas a ensayar.

Tabla 23. Costo de las probetas.

CANT.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	TOTAL
1	Placa de 200x250 en 6 mm (Acero ASTM A36)	Unidad	4.50	4.50
SUBTOTAL				4.50

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.5. Costo de la mano de obra.

En la siguiente tabla se especifica los costos que corresponden a la mano de obra empleada en la construcción y elaboración del banco de pruebas.

Tabla 24. Costo de la mano de obra.

Nº	DESCRIPCIÓN	SALARIO/HORA	HORAS	TOTAL
1	Maestro Mecánico	6.67	30	200
1	Ayudante	3.33	30	100
SUBTOTAL				300.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.6. Costo de ingeniería y diseño.

Costos generados que corresponden a la realización de cálculos y elementos diseñados en el Software CAD SolidWorks. El costo que se encuentra establecido por los diseñadores en el mercado nacional es de \$15 por hora. Por consiguiente, tenemos la siguiente tabla:

Tabla 25. Costo de ingeniería y diseño.

Nº	DESCRIPCIÓN	SALARIO/HORA	HORA	TOTAL
1	Ingeniería y diseño	15.00	40	600.00
SUBTOTAL				600.00

ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.

4.6.7. Presupuesto final.

En la siguiente tabla se presenta la sumatoria total de cada uno de los costos, y a su vez se suma el costo de eventos repentinos sea este por transporte, administración y valores

adicionales que se presenten en el transcurso del proyecto. Comúnmente corresponde al 5% del subtotal de costos.

Tabla 26. Presupuesto final.

Costos	Valores (\$)
Costo de los materiales	323.31
Costos de elementos mecánicos	122.55
Costos de elementos varios	61.34
Costo de las probetas	4.50
Costo de la mano de obra	300.00
Costos de ingeniería y diseño	600.00
SUBTOTAL	1411.70
Costos Imprevistos (5%)	70.60
Transporte	63.20
VALOR OFERTADO	1545.50
ELABORADO POR: SINMALEZA CARLOS.	

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se diseñó y construyó el banco de pruebas fundamentándose en un método de ponderación de factores para seleccionar la alternativa correcta, se obtuvo que la alternativa C cumple con los requerimientos necesarios que se esperan obtener, como resultado de ponderación de 0.3416 superando a las otras alternativas.
- El banco de pruebas se diseñó empleando cálculos, criterios de diseño y a través de un software de diseño conocido como MDSolids. Se elaboró un prototipo mediante la utilización del software ingenieril SolidWorks donde se realizó todas las partes esenciales que conforman el equipo y la estructura para su posterior ensamble.
- Con las herramientas de análisis del software SolidWorks, se realizó la simulación por elementos finitos (FEA) a la matriz y émbolo interactuando con la placa, la cual genero 1581 MPa, mientras que en el émbolo y matriz llega a 0.000002 MPa lo cual da como aceptable el análisis, se procede a realizar el mismo análisis a la estructura, la cual soporta los esfuerzos ejercidos de forma exitosa, posteriormente se analiza el factor de seguridad de la estructura el cual da un FDS mínimo de 4.7 que es aceptable acorde a las recomendaciones para estructuras estáticas bajo cargas dinámica que sugiere Robert Mott, el uso de este tipo de software ayudan a visualizar y analizar tensiones y deformaciones presentes, como también la interacción de los mismos en condiciones de trabajo real. Así logrando correcciones de fallos que se puedan presentar en el diseño de esta manera abaratando costos.
- Los resultados obtenidos se ajustan a las recomendaciones mínimas de la norma AWS D1.1 para la plantilla guía donde se realizará el ensayo de doblado, donde dice que el material a ensayar debe tener un límite elástico de 50 ksi o menor, el material utilizado para las pruebas fue acero ASTM A36.
- Acorde a la norma AWS D1.1 se efectuó el ensayo de doblado utilizando los criterios de aceptación, realizando las WPS especificaciones del procedimiento de soldadura y calificación del soldador y operador, a través del formato proporcionado de la norma AWS D1.1, se realizó la guía de práctica de todo el procedimiento para que los estudiantes realicen un correcto ensayo de doblado.

- El presupuesto total para la construcción del banco de pruebas, donde se adquirieron los materiales empleados para su construcción, mano de obra, ingeniería y diseño dan una suma total de 1545.50 dólares.

5.2. Recomendaciones.

- Utilizar de acuerdo al tipo de material a ensayar un espesor de acero de 6 mm o inferior.
- Para que la prensa tenga un funcionamiento autónomo, y controlar la fuerza que se aplica se recomienda que se implemente sistema mecánico, sistema eléctrico y de control para su automatización.
- Se recomienda la utilización de implementos de seguridad apropiados al momento de la manipulación de banco de pruebas para evitar percances.
- Se recomienda colocar aceite en las guías y en la matriz, para que el ensayo se realice sin ninguna dificultad.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

- [1] R. G. Budynas y J. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 10 ed., México D.F.: McGRAW-Hill, 2015.
- [2] R. E. Shanno, Simulación de sistemas: Diseño, Desarrollo e implementación, México D.F.: Trillas, 1992.
- [3] Dassault Systemas SolidWorks Corporation, «My SolidWorks,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/chhk2>. [Último acceso: 18 1 2021].
- [4] Solid-bi, «SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve,» Solid-bi, [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>.
- [5] A. G. Gordo y N. M. Piris, Ciencia de los materiales para ingenieros, Madrid: Pearson Educación S.A., 2012.
- [6] P. M. Solá, Soldadura industrial: clases y aplicaciones, Barcelona: Marcombo, 1992, p. 9.
- [7] M. P. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 3 ed., Mexico D.F.: McGraw-Hill, 2007.
- [8] Grupmav, «Las uniones en soldadura: Tipo y características,» 21 9 2020. [En línea]. Available: <https://n9.cl/buxfi>. [Último acceso: 17 5 2020].
- [9] D. L. Glizmanenco, Soldadura y corte de los metales, La Habana: Científico Técnica, 1981.
- [10] Federación de Enseñanza de CC.OO, «Tipos de uniones soldadas,» 6 1 2010. [En línea]. Available: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6731.pdf>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [11] Course Hero, «Uniones y juntas para soldadura,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/64612411/Unidad-9pdf/>. [Último acceso: 18 5 2021].

- [12] BFMéxico, «Tipos de uniones en soldaduras,» 6 12 2017. [En línea]. Available: <https://bfmx.com/soldadura/tipos-uniones-soldaduras/>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [13] F. D. d. C. Rodriguez, «Uniones soldadas y su simbología según AWS,» 1 1 2018. [En línea]. Available: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m2/Uniones_soldadas_y_su_simbologia_segun_AWS.pdf. [Último acceso: 18 5 2021].
- [14] ESAB, «Proceso de soldadura - SMAW,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/bd7j6>. [Último acceso: 20 1 2021].
- [15] Carburos Metálicos grupo AIR products, «Manual del soldador,» 2018. [En línea]. Available: https://n9.cl/ksm_. [Último acceso: 20 1 2021].
- [16] American Welding Society, «academia.edu,» 28 Julio 2015. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/39202759/AWS_D1_1_2015_espanol. [Último acceso: 20 1 2021].
- [17] G. N. Y. S. A. Malishev, «academia.edu,» 1983. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/42104559/TECNOLOG%C3%8DA_DE_LOS_METAL_ESM. [Último acceso: 10 2 2021].
- [18] R. C. JUVINALL y K. M. MARSHK, Diseño de Elementos de Máquinas, 2 ed., México D.F.: LIMUSA WILEY, 2013.
- [19] R. C. Bu, Simulación un enfoque práctico, México: Limusa S.A. DE C.V, Grupo Noriega, 2003.
- [20] V. M. Faires, Diseño de Elementos de Máquinas, Barcelona: MONTANER Y SIMÓN S.A., 1977.
- [21] A. D. Deutschman, W. J. Michels y C. E. Wilson, Diseño de Máquinas; Teoría y Práctica, México D.F.: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. DE C.V., 1987, pp. 95-101.
- [22] J. C. McCORMAC y S. F. CSERNAK, Diseño de Estructuras de Acero, 5 ed., México D.F.: ALFAOMEGA, 2013.

- [23] W. F. SMITH y J. HASHEMI, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, 4 ed., México, D.F.: Mc Graw Hill/INTERAMERICANA, 2006.
- [24] P. Robert L. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 4 ed., México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [25] G. Bavaresco, «Prensas,» 2021. [En línea]. Available: <https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/prensas.pdf>. [Último acceso: 5 5 2021].
- [26] solpress, «Prensa mecánica: todo lo que necesitas saber,» 20 7 2020. [En línea]. Available: <https://solpressbcn.com/prensa-mecanica-todo-lo-que-necesitas-saber/>. [Último acceso: 6 5 2021].
- [27] San Juan Reciclado y Demoliciones, «Prensa neumáticas vs Prensa manual,» 24 7 2015. [En línea]. Available: <https://www.rdsanjuan.com/prensa-neumatica-vs-prensa-manual/>. [Último acceso: 6 5 2021].
- [28] Maquíutls, «Prensa hidráulica: historia, uso, ventajas y desventajas.,» 15 3 2017. [En línea]. Available: <https://www.maquituls.es/noticias/prensas-hidraulicas-historia-usos-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 7 5 2021].
- [29] S. y. s. e. e. t. i. 45001, «Guantes de seguridad,» 2021. [En línea]. Available: <https://norma-ohsas18001.blogspot.com/2013/11/guantes-de-seguridad.html>. [Último acceso: 8 5 2021].
- [30] Décimo dotaciones, «Gafas de seguridad industrial,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dotacionesenbogota.com/gafas-de-seguridad-industrial/>. [Último acceso: 8 5 2021].
- [31] Calzadoduo, «Descripción, componentes y características del calzado industrial,» 21 3 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/wcgph>. [Último acceso: 8 5 2021].
- [32] Marca THE SAFETY COMPANY, «Vestuario laboral- Ropa de protección,» 12 12 2017. [En línea]. Available: <https://marcapl.com/blog/2017/12/vestuario-laboral-ropa-proteccion/>. [Último acceso: 9 5 2021].

- [33] Universidad Politécnica de Valencia, «Equipos de protección personal: equipo de protección auditiva,» 2021. [En línea]. Available: https://www.sprl.upv.es/iop_pm_16.htm. [Último acceso: 9 5 2021].
- [34] Federación de Enseñanza de CC.OO, «Ensayos no destructivos en la soldadura,» 13 3 2011. [En línea]. Available: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8259.pdf>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [35] West arco, «Inspección visual y discontinuidades en las uniones soldadas,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/21yab>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [36] SCI Control y inspección, «¿Que es una inspección por líquidos penetrantes?,» 2021. [En línea]. Available: <https://n9.cl/u978>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [37] SCI Control y inspección, «Ensayo no destructivo: Tipos y funciones,» 19 7 2020. [En línea]. Available: <https://scisa.es/ensayo-no-destructivo/>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [38] P. A. R. Rojas, «Calidad en la Soldadura: Inspección y detección con ensayos no destructivos,» 2021, p. 46.
- [39] Federación de Enseñanza de CC.OO, «Ensayos destructivos metalúrgicos,» 14 5 2011. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2S25WgE>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [40] Zwick, «Ensayo de tracción,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [41] E. M. Bejarano, «Ensayo de Impacto Charpy,» 2021. [En línea]. Available: <https://bit.ly/3uZjqsa>. [Último acceso: 18 5 2021].
- [42] D. H. RuIz, Fundamentos y ensayos en materiales metálicos, Buenos Aires: MDC. Machine S.A., 2006, p. 72.
- [43] C. R. Romeva, Diseño concurrente, Barcelona: UPC(Universidad Politécnica de Catalunya), 2002, pp. 59-62.

- [44] J. R. Luna, Proyecto de Mejoramiento de Tecnología de Estampado y Troquelado, Cálculo de Doble L,U y V, CIDESI & JICA, 2007.
- [45] Instituto Mexicano de la construcción de Acero, A.C, Manual de Construcción en Acero; Diseño por esfuerzos permisibles, México. D.F.: LIMUSA, S.A., 2002.
- [46] R. C. Hibbeler, Mecánica de Materiales, 8 ed., México: PEARSON, 2011.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXOS.

Anexo 1. Adquisición del material para la construcción del banco de pruebas.



Anexo 2. Soldadura de los marcos de la estructura.



Anexo 3. Estructura.



Anexo 4. Mecanismo de sujeción de la matriz y émbolo.



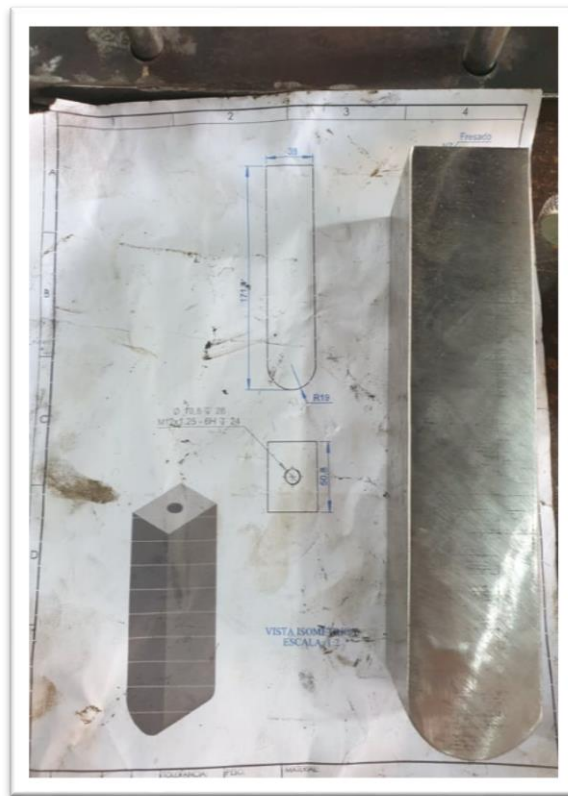
Anexo 5. Mecanizado de la matriz.



Anexo 6. Matriz mecanizada.



Anexo 7. Émbolo mecanizado.



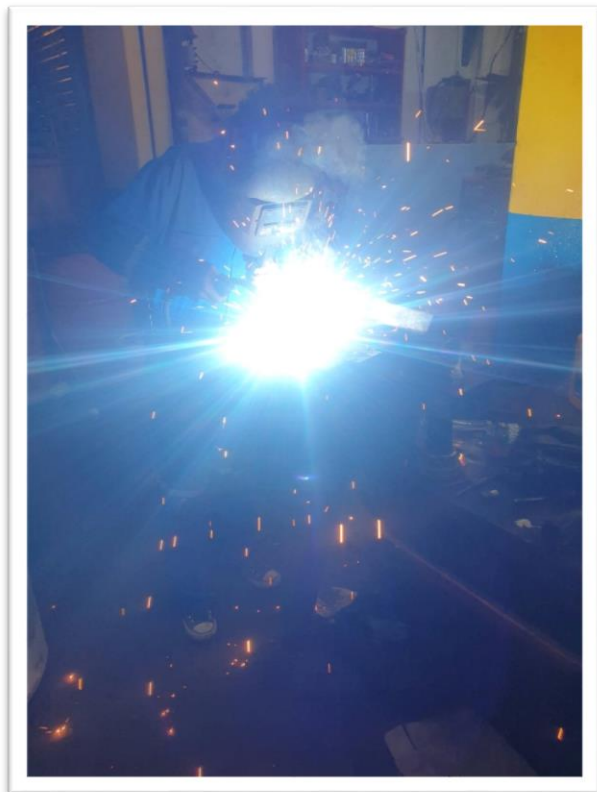
Anexo 8. Montaje de la matriz, émbolo y mecanismos.



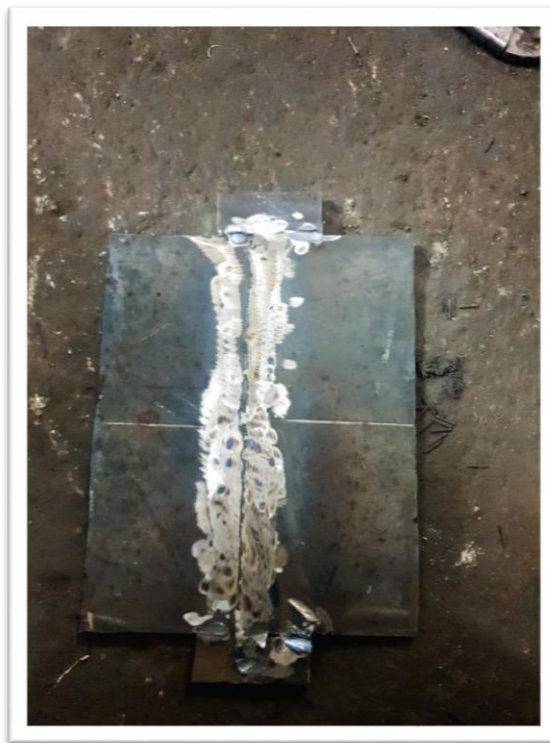
Anexo 9. Banco de pruebas.



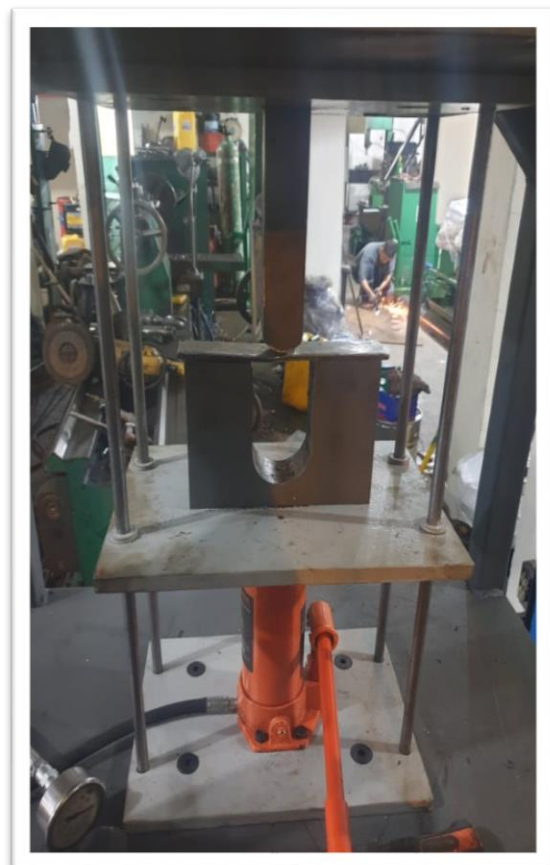
Anexo 10. Realización del cordón de soldadura para la elaboración de las probetas.



Anexo 11. Cupón de soldadura.



Anexo 12. Elevación de la matriz hasta el émbolo.



Anexo 13. Doblado de la probeta parte 1.



Anexo 14. Doblado de la probeta parte 2.



Anexo 15. Doblado de la probeta parte 3.



Anexo 16. Probeta ensayada.



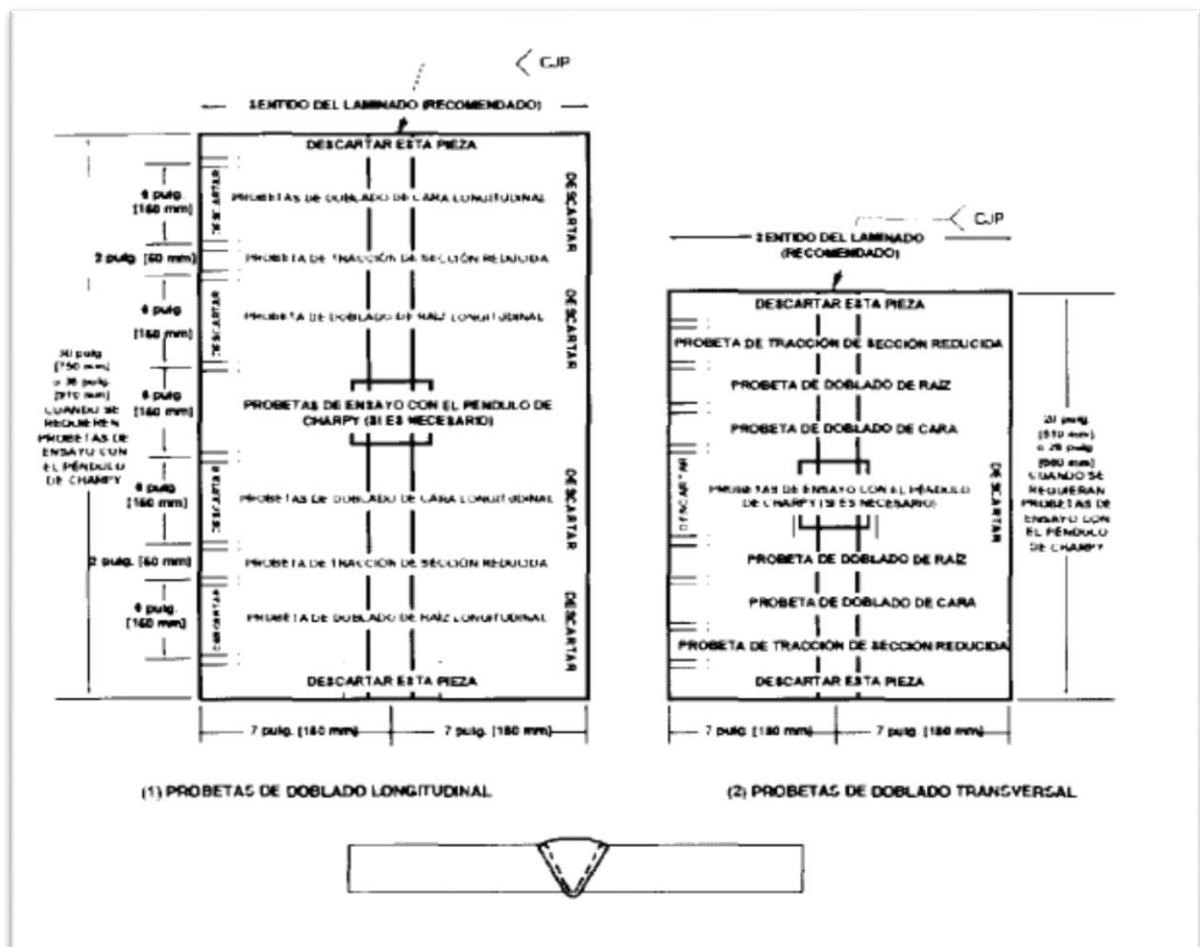
Anexo 17. Calificación de la WPS.

Calificación de la WPS—Soldaduras en ranura con CJP: Cantidad y tipo de probetas de ensayo y rango de espesor y diámetro calificados (véase 4.5) (Dimensiones en pulgadas)

1. Ensayos en placa^{a,b}

Espesor nominal de placa (T) probado, pulgadas	Cantidad de probetas				Espesor nominal del conducto o tubo calificado ^{c,d} pulgadas	
	Tracción en sección reducida (véase Fig. 4.10)	Doblado de raíz (véase Fig. 4.8)	Doblado de cara (véase Fig. 4.8)	Doblado lateral (véase Fig. 4.9)	Min.	Máx.
$1/8 \leq T \leq 3/8$	2	2	2	(Nota g)	1/8	2T
$3/8 < T < 1$	2	—	—	4	1/8	2T
1 y más	2	—	—	4	1/8	Sin límite

Anexo 18. Ubicación de probetas en placa de ensayo soldadas 3/8 pulg [10 mm] y menos espesor – Calificación de WPS.

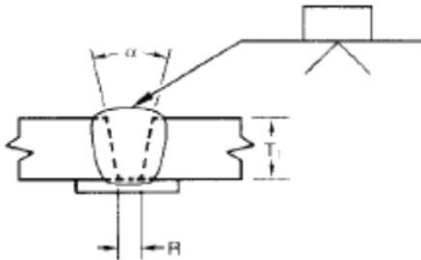


Anexo 19. Material base aprobados para WPS precalificadas.

Tabla 3.1
Metales base aprobados para WPS precalificadas (véase 3.3)

G r u p o	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero	Punto/límite elástico mínimo		Rango de tracción		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
I	ASTM A36	(≤ 3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A381	Grado Y35	35	240	60 mín.	415 mín.
	ASTM A500	Grado A	33	230	45 mín.	310 mín.
		Grado B	42	290	58 mín.	400 mín.
		Grado C	46	315	62 mín.	425 mín.
	ASTM A501	Grado A	36	250	58 mín.	400 mín.
	ASTM A516	Grado 55	30	205	55–75	380–515
		Grado 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524	Grado I	35	240	60–85	415–586
		Grado II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573	Grado 65	35	240	65–77	450–530
		Grado 58	32	220	58–71	400–490
	ASTM A709	Grado 36 (≤ 3/4 pulgadas [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A1008 SS	Grado 30	30	205	45 mín.	310 mín.
		Grado 33 Tipo 1	33	230	48 mín.	330 mín.
		Grado 40 Tipo 1	40	275	52 mín.	360 mín.
	ASTM A1011 SS	Grado 30	30	205	49 mín.	340 mín.
		Grado 33	33	230	52 mín.	360 mín.
		Grado 36 Tipo 1	36	250	53 mín.	365 mín.
		Grado 40	40	275	55 mín.	380 mín.
		Grado 45	45	310	60 mín.	410 mín.
	ASTM A1018 SS	Grado 30	30	205	49 mín.	340 mín.
		Grado 33	33	230	52 mín.	360 mín.
		Grado 36	36	250	53 mín.	365 mín.
		Grado 40	40	275	55 mín.	380 mín.
	API 5L	Grado B	35	241	60	414
		Grado X42	42	290	60	414
	ABS	Grados A, B, D, CS, DS	34	235	58–75	400–520
		Grado E ^b	34	235	58–75	400–520

Anexo 20. Detalles de la junta soldada en ranura con CJP precalificada.

Soldadura en ranura en V simple (2) Junta a tope (B) 				Tolerancias				
				Según detalle (véase 3.13.1)	Según acoplamiento (véase 3.13.1)			
				R = +1/16, -0	+1/4, -1/16			
				α = +10°, -0°	+10°, -5°			
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protec- ción para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 1/4	α = 45°	Todas	—	e, j
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	—	e, j
				R = 1/2	α = 20°	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 3/16	α = 30°	F, V, OH	Se requiere	a, j
				R = 3/8	α = 30°	F, V, OH	No se req.	a, j
				R = 1/4	α = 45°	F, V, OH	No se req.	a, j
SAW	B-L2a-S	2 máx.	—	R = 1/4	α = 30°	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R = 5/8	α = 20°	F	—	j

Anexo 21. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)											
Título Nombre de la compañía Tutor Autorizado por				15/3/2021 Fecha		B-112a-01F Nº de WPS Ninguno (precalificado) POR(s) de respaldo		0 Nº de rev Informe CVN		15/3/2021 Fecha	
MATERIAL BASE Material base Soldado a Material de respaldo Otro				Especificación Tipo o grado AWS Nº de grupo		ESPESES DEL MATERIAL BASE Soldadura en rana con CJP Rana CJP a CVN Soldadura en rana con FIP Soldadura en filete DIAMETRO		Tal como se soldó 6 mm 		Con PWIT	
DETALLES DE LA JUNTA Tipo de junta Ángulo de la rana Abertura de la raíz Cara de la raíz Ransado del lado apueto Método						Junta a tope de rana en V (individual) 30 grados 4,7 mm - N.A. -					
TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA Temperatura Tiempo de la temperatura Otro						Ninguno - -					
PROCEDIMIENTO											
Capa(s) de soldadura		Todo									
Pasada(s) de soldadura		Todo									
Proceso		GMAW									
Tipo (semiautomático, mecanizado, etc.)		Semiautomático									
Posición		0G									
Progresión vertical											
Metal de aporte (espec. de AWS)		A5.28									
Calificación de AWS		D1708-6									
Diámetro		0,8 mm									
Fabricante/nombre comercial											
Gas de protección (composición)		100 % CO ₂									
Caudal											
Tamaño de la boquilla											
Temperatura de precalentamiento		23°									
Temperatura entre pasadas		100°									
Características eléctricas											
Polaridad y tipo de corriente											
Modo de transferencia											
Tipo de fuente de alimentación (cc, cv, etc.)		CV									
Amperios		180-220									
Volts		20-26									
Velocidad de alimentador de alambres		(Amperios)									
Velocidad de avance		(5-20 m/min)									
Entrada de calor máxima											
Técnica											
cordon recto o cordón oscilado u ondulado		ondulado									
Pasada múltiple o única (por lado)		Pasada múltiple									
Oscilación (mecanizada, automática)											
Longitud transversal											
Velocidad transversal											
Tiempo de permanencia											
Número de electrodos		1									
Distancia del tubo de contacto al trabajo											
Martillado		N.A.									
Limpieza entre pasadas		Escoria removida									
Otro											
Elaborado por											
Nombre: Carlos Andres Simalaza Moser Firma:											

Anexo 22. Calificación de desempeño del soldador.

REGISTRO DE ENSAYOS DE CALIFICACIÓN DE DESEMPEÑO DE SOLDADORES, OPERARIOS DE SOLDADURA O SOLDADORES POR PUNTO							
Nombre	Tito		Fecha del ensayo		15/3/2021	Rev.	
Número de ID	-		N° de registro		WPS-1	0	
N° de sello	-		N° de ensayo est.		ST-1	0	
Compañía	-		N° de WPS		WPS-1	0	
División	-		Calificado para		AWS D1.1		
Metales base	Especificación	Tipo o grado	AWS N° de grupo	Tamaño (NPS)	Programa	Espesor	Diámetro
Metales base	ASTM A36					1/4 pulgada	
Soldado a	ASTM A36					1/4 pulgada	
VARIABLES		Valores reales		RANGO CALIFICADO			
Tipo de junta soldada		Placa - Ramas		Soldadura en rama, filete, tubo.			
Metal base		Grupo 1 a grupo 1		Todos los materiales base calificado AWS D1.1			
		Rama	Filete	Rama		Filete	
Espesor de la placa		1/4 pulgada	-	1/8 pulgada - 3/4 pulgada			
Espesor de la tubería/tubo		-	-				
Diámetro de tubería		-	-				
Proceso de soldadura		GMAW		GMAW			
Tipo (manual, semiautomático, mecanizado, automático)		Semiautomático		Semiautomático, mecanizado, automático			
Respaldo		con		Con (incluido marcado del lado opuesto y soldadura de respaldo)			
Metal de aporte (espec. de AWS)		A5.28		A5.xx			
Clasificación de AWS		E308-6		Todo			
F-Número		-		-			
Posición		1G					
Rama - Placa y tubería > 24 pulgadas				Rama - Placa			
Rama - Tubería < 24 pulgadas				-			
Filete - Placa y tubería > 24 pulgadas				-			
Filete - tubería < 24 pulgadas				-			
Progresión				-			
Modo de transferencia GMAW							
Electrodos únicos o múltiples		Único		Único			
Tipo de gas fundente		A5.32 90-C		A5xx aprobado			
RESULTADOS DEL ENSAYO							
Tipo de ensayo		Criterios de aceptación		Resultados		Comentarios	
Inspección visual según 4.9.1		4.9.1		Aceptable			
Posición 1G: 1 Doblado de raíz según 4.9.3.1		4.9.3.3		Descartado			
Posición 1G: 1 Doblado de cara según 4.9.3.1		4.9.3.3		Aceptable			
CERTIFICACIÓN							
Elaborado por							
Laboratorio							
Número de ensayo							
Número de archivo							
Nosotros, los firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras de ensayo fueron preparadas, soldadas y probadas en conformidad con los requisitos de la Sección 4 de AWS D1.1/D1.1M (2015) Código de soldadura estructural - Acero							
Elaborado por							
				Nombre: Carlos Andrés Simalera Monar			
				Firma:			