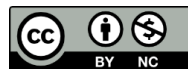


IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Y SU
REGISTRO DE CALIFICACIÓN (PQR) EN CUMPLIMIENTO CON LA NORMA API 1104
PARA GR INGEOBRAS S.A.S.
Pasantía Empresarial - Informe Técnico



Por:
HUGO CAMILO RUÍZ CHACÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
VILLAVICENCIO

2025

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Y SU
REGISTRO DE CALIFICACIÓN (PQR) EN CUMPLIMIENTO CON LA NORMA API 1104
PARA GR INGEOBRAS S.A.S.
Pasantía Empresarial - Informe Técnico

Por:
HUGO CAMILO RUIZ CHACÓN

Informe de pasantía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero mecánico

Aprobado por:
Ing. GIOVANNY ANDRÉS VERGARA LOZANO
Magister en Ingeniería Mecánica
Tutor Universidad

Ing. PEDRO GIOVANNI RUIZ CAMACHO
Tutor Empresa

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

PhD Handel Andrés MARTÍNEZ SARACHE

Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres, quienes con su esfuerzo y dedicación sacaron adelante a mis tres hermanos y a mí. Siempre estuvieron ahí, apoyándome en cada decisión que he tomado en mi vida. Espero haberlos hecho sentir orgullosos y que este sea el primero de muchos logros en mi carrera como Ingeniero Mecánico.

También dedico este logro a mis perritos Max y Zeus, quienes me acompañaron en las desveladas mientras estudiaba para los parciales. Aunque no entendían lo que pasaba, me brindaban su amor incondicional.

Este logro no es solo mío, sino de todas las personas que conocí y que me ayudaron en el camino. No lo habría conseguido sin el granito de arena que cada una de ellas aportó. Este título de Ingeniero Mecánico es para todos los que siempre creyeron en mí y sabían que lo lograría.

Gracias por aconsejarme, aportar en mi vida y ser ese apoyo incondicional en todo mi crecimiento personal y profesional.

Agradecimientos

Hoy quiero agradecer a mis padres que me acompañaron durante mi camino como estudiante de Ingeniería Mecánica y siempre han dado lo que esté al alcance de ellos para que yo pueda tener lo mejor. Agradezco que siempre hayan esperado lo mejor de mí, toda mi vida voy a estar agradecido por los padres que me dio la vida.

Agradezco a mi director de grado por su paciencia, colaboración y por estar siempre dispuesto a guiarme. Gracias por tenderme la mano y brindarme su apoyo en todo momento; no habría podido tener un mejor guía durante este proceso.

A la empresa que me abrió sus puertas y me permitió aprender de todo un poco, mostrándome cómo es realmente el trabajo de un ingeniero. Gracias a esa experiencia, hoy tengo la oportunidad de formar parte de la empresa más grande del país en la producción de etanol, un logro que debo a las enseñanzas y oportunidades que me brindaron.

Asimismo, doy gracias a mis compañeros, que siempre estuvieron conmigo y me brindaron su apoyo cuando más lo requería. Confío en que algún día nos reencontremos en el entorno laboral y continuemos desarrollándonos juntos como profesionales. También te doy gracias a ti María Paula por hacerme mejor persona y ayudarme sin esperar nada a cambio, confiaste siempre en mí y nunca me dejaste solo.

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Perfil de la empresa.....	13
2. Formulación del Problema.....	15
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo General	16
3.2 Objetivos Específicos	16
4. Metodología	17
4.1 Descripción de etapas y tareas	17
4.1.1 Etapa 1	17
4.1.2 Etapa 2	17
4.1.3 Etapa 3	18
4.1.4 Etapa 4	18
5. Marco de Referencia.....	19
6. Marco Normativo.....	21
6.1. Norma API 1104.....	21
6.2. ISO 9712:2021	21
7. Actividades Realizadas	22
4.1 Desarrollo objetivo 1	27
4.2 Desarrollo objetivo 2	32
7.2 Desarrollo objetivo 3	38
7.3.1 Proceso API 1104 (API numeral 5.3.2.1.)	40
7.3.1 Materiales del tubo y de los accesorios (API numeral 5.3.2.2.)	40
7.3.1 Diámetros y espesores de pared (API numeral 5.3.2.3.)	41
7.3.1 Posición numeral (API 5.3.2.8.)	41
7.3.1 Dirección (Orientación) de la soldadura (API numeral 5.3.2.9.).....	41
7.3.1 Tipo de alineadores (API numeral 5.3.2.11.).....	42
7.3.1 Limpieza (API numeral 5.3.2.12.)	42
7.3.1 Precalentamiento (API numeral 5.3.2.13.).....	43

7.3.1	Diseño del WPS	43
7.4	Desarrollo objetivo 4	46
7.4.1	Ensayos no destructivos	47
7.4.2	Ensayos destructivos	50
8	Resultados	53
9	Conclusiones Norma API 1104	60
10	Desarrollo de proyecto aplicado en plataforma de operación.....	61
10.1	Ensayo de Esfuerzos Plataformas de Operación	61
10.2	Modelado	62
10.3	Datos de entrada	62
10.4	Simulaciones.....	63
10.5	Resultados	64
10.6	Conclusiones.....	65
11	Análisis DOFA.....	66
11.1	Análisis Empresa	66
11.2	Análisis Personal	68
12	Aportes	71
13	Lecciones Aprendidas	73
14	Recomendaciones	75
15	Conclusiones	76
16	Referencias.....	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Cronograma de actividades</i>	22
Tabla 2 <i>Descripción de normas</i>	27
Tabla 3 <i>Tipo y número de probetas para prueba de calificación del procedimiento</i>	29
Tabla 4 <i>Propiedades mecánicas tubería ASTM A53 / ASTM A106 / API 5L grado B</i>	36
Tabla 5 <i>Dimensiones y amperajes recomendado E6010 ZIP 10T</i>	37
Tabla 6 <i>Dimensiones y amperajes recomendado E7010-A1</i>	37
Tabla 7 <i>Características eléctricas equipos de soldadura</i>	38
Tabla 8 <i>Variables del documento WPS</i>	39
Tabla 9 <i>Propiedades de la tubería</i>	40
Tabla 10 <i>Aportes y recomendaciones</i>	71
Tabla 11 <i>Lecciones aprendidas</i>	73

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Logo de la empresa</i>	13
Figura 2 <i>Probeta ensayo de tracción</i>	30
Figura 3 <i>Probeta ensayo de rotura</i>	31
Figura 4 <i>Probeta ensayo curva raíz y cara</i>	32
Figura 5 <i>Diseño de juntas para pared de igual espesor</i>	33
Figura 6 <i>Diseño de la junta</i>	34
Figura 7 <i>Guía de electrodos para soldar WEST ARCO</i>	35
Figura 8 <i>Posición de la tubería</i>	41
Figura 9 <i>Alineadores externos para tubería</i>	42
Figura 10 <i>Diseño del WPS-Hoja 1</i>	44
Figura 11 <i>Diseño del WPS-Hoja 2</i>	45
Figura 12 <i>Diseño del WPS-Hoja 3</i>	46
Figura 13 <i>Proceso de tintas penetrantes</i>	48
Figura 14 <i>Reporte de resultados de ensayo radiográfico</i>	49
Figura 15 <i>Proceso de soldadura</i>	50
Figura 16 <i>Posiciones de extracción de las probetas desde la soldadura</i>	51
Figura 17 <i>Extracción de probetas</i>	52
Figura 18 <i>Resultado tintas penetrantes</i>	53
Figura 19 <i>Resultado de ensayo de radiografía</i>	53
Figura 20 <i>Probetas antes del ensayo de tensión</i>	54
Figura 21 <i>Probetas después del ensayo de tensión</i>	54
Figura 22 <i>Probetas antes del ensayo de tensión</i>	55
Figura 23 <i>Probetas después del ensayo de tensión</i>	55
Figura 24 <i>Probetas antes del ensayo de sanidad (Rotura Nick)</i>	55
Figura 25 <i>Probetas después del ensayo de sanidad (Rotura Nick)</i>	56
Figura 26 <i>Reporte de resultado de ensayos mecánicos</i>	57
Figura 27 <i>Resultados del ensayo de tracción del material T1-API</i>	58
Figura 28 <i>Resultados del ensayo de tracción del material T2-API</i>	59

Figura 29 <i>Curvas de amenaza sísmica y clasificación del nivel de amenaza en el departamento del Meta</i>	61
Figura 30 <i>Modelado de la plataforma de operación</i>	62
Figura 31 <i>Simulación estructura plataforma operación</i>	63
Figura 32 <i>Análisis estructural</i>	64
Figura 33 <i>Análisis DOFA Empresa</i>	66
Figura 34 <i>Análisis DOFA Personal</i>	69

Introducción

La calidad de las soldaduras desempeña un papel crucial en la integridad de las uniones, por lo que debe garantizarse su fiabilidad ante cualquier condición, lo que hace que la estandarización de estos procedimientos adquiere un valor fundamental en la seguridad y en el control exigido por las normativas vigentes. Dentro de las más distinguidas, se encuentra la norma API 1104 (Standard for Welding Pipelines and Related Facilities), la cual establece los requisitos técnicos para la soldadura de tuberías y equipos sometidos a altas presiones, garantizando conexiones fuertes y estables a lo largo del tiempo. Por ello, integrar estos estándares representa una mejora significativa en procedimientos operativos de los proyectos a desarrollar.

El presente trabajo tiene como propósito el desarrollo de un procedimiento de soldadura conforme a la norma API 1104 en la empresa GR INGEOBRAS S.A.S., ubicada en el municipio de Acacías, departamento del Meta. La empresa cuenta con más de 12 años de experiencia en el sector de manufactura e hidrocarburos (*Oil & Gas*), desarrollando proyectos civiles y metalmecánicos, tales como movimiento de tierras, alquiler de maquinaria amarilla, fabricación de cajas, *skimmers*, cárcamos, *skids*, entre otros.

Actualmente, GR INGEOBRAS está enfrentando desafíos relacionados con la falta de estandarización en sus procesos de soldadura aplicados a la fabricación de tuberías y al mantenimiento de líneas de flujo. Y para responder esta necesidad adecuadamente pero no eficientemente, la empresa ha optado por subcontratar estos servicios, lo que representa un incremento en los costos y una pérdida de control sobre la calidad del proceso.

Entonces, para abordar esta problemática, se propone la implementación de un procedimiento de soldadura conforme a la norma API 1104 dentro de la empresa. El objetivo principal de este proyecto es implementar un procedimiento de soldadura que cumpla con los estándares establecidos por la norma API 1104. Esto incluye la elaboración de un documento WPS (Welding Procedure Specification), el cual define las variables y parámetros del proceso, respaldado por un documento PQR (Procedure Qualification Record), que verificará la calidad del procedimiento de soldadura a través de ensayos mecánicos, garantizando su confiabilidad.

La metodología se construyó a partir de la comparación entre normativas internacionales para poder cubrir los criterios técnicos de la empresa; seguido se realizó la caracterización de los equipos de soldadura disponibles en la empresa para poder perfilar el WPS más productivo y

eficiente. Se dispusieron de varias etapas, cada una con sus tareas la primera se concentra en la comparativa de las normativas internacionales; requisitos y criterios de evaluación. La segunda consistió en definir las características de los equipos eléctricos de la empresa, sus parámetros eléctricos y configuración. En la tercera se elabora el WPS para la empresa. La cuarta es la calificación del WPS diseñado según la norma técnica API 1104. Dentro de los resultados obtenidos se logró un aprendizaje tanto técnico como administrativo de los procesos de una empresa de ingeniería. El alcance del presente informe de práctica profesional se limita a los procesos aprendidos por parte del practicante, tanto en lo técnico como en lo administrativo; por lo que se circunscribe a los temas y procesos realizados, así como a las áreas a las que se tuvo ingreso.

1. Perfil de la empresa

La empresa GR INGEOBRAS S.A.S., ubicada en el municipio de Acacías Meta, presta sus servicios principalmente para el sector petrolero, no obstante, también realiza proyectos para diferentes sectores económicos como el agrícola. En su estructura organizacional está liderada por un gerente general el cual es el representante legal y dueño de la empresa, quien dirige y toma la mayor parte de las decisiones. En el nivel operativo, se divide en área de ingeniería y proyectos, constituida por tres ingenieros y el área de mantenimiento de equipos y maquinaria, liderada por una persona. En campo, la empresa dispone de un equipo compuesto por operarios, conductores, soldadores, pintores y ayudantes.

Figura 1

Logo de la empresa



Nota. Tomado del sitio web oficial de INGEOBRAS S.A.S. (<https://www.ingeobras.com>).

Con más de 12 años ejecutando proyectos mecánicos, civiles, eléctricos y electrónicos, la empresa GR INGEOBRAS S.A.S., cuenta con tres certificaciones que demuestran su calidad y compromiso con la sociedad, estas certificaciones son la ISO 45001, orientada a la gestión de la seguridad y salud en el trabajo; la ISO 9001 que respalda su sistema de gestión de calidad; y 14001, que establece lineamientos para una gestión ambiental responsable.

En ese contexto, ha ejecutado una gran cantidad de proyectos orientados principalmente al sector Oil & Gas, aunque también ha incursionado en otras industrias regionales como la agrícola y la infraestructura civil. Sus actividades más frecuentes incluyen la fabricación y montaje de estructuras metálicas, así como el movimiento de tierras para obras civiles. En cuanto a las estructuras metálicas, se fabrican en gran cantidad cárcamos para aguas aceitosas, tapas para diferentes tipos de cajas (como cajas de bridas, recolectoras, aceitosas y de válvulas), así como casetas para algún equipo industrial.

En el sector agrícola, desarrolla el diseño y construcción de casetas para el almacenamiento de tractocamiones, teniendo una gran complejidad de estos proyectos, ya que varían según la ubicación geográfica, las condiciones del terreno, los costos y el diseño específico, por esto, la empresa también ofrece asesoría para determinar el alcance económico y técnico de las obras a nivel departamental. GR INGEOBRAS opera bajo contratos por prestación de servicios con compañías del sector petrolero, agroindustrial y de infraestructura.

Como parte de sus recursos tecnológicos, la empresa hace uso de programas de diseño asistido por computador (CAD) que le permitan tener un diseño de alta calidad y confiabilidad. Por esto, sus desarrolladores emplean software CAD 3D como Solidworks y AutoCAD, que no solo se utilizan para elaborar planos o diseños a terceros, sino también para fabricar piezas que deben reemplazarse en equipos o simular estructuras con el fin de analizar su comportamiento ante cargas y verificar su condición.

2. Formulación del Problema

La empresa GR Ingeobras S.A.S. reconocida en el sector de obras civiles y proyectos de ingeniería, ha sobresalido por su dedicación a la calidad en las estructuras metálicas. Actualmente, la empresa dispone de un procedimiento documentado basado en la norma AWS D1.1 (2020), el cual garantiza los requerimientos de calidad en la fabricación y montaje de estructuras. No obstante, esta norma no abarca los procedimientos de soldadura para tuberías a presión, lo cual es un factor crucial en el sector de hidrocarburos.

La falta de un procedimiento interno estandarizado para la soldadura en tuberías ha llevado a GR Ingeobras a depender de subcontrataciones de servicios de soldadura certificada. De acuerdo con el estudio de Fernando Duarte (2012), esta dependencia no solo eleva los costos operativos, sino que también impacta el control del proceso, poniendo en riesgo la capacidad de la empresa para llevar a cabo proyectos que requieren altos estándares de calidad y disminuyendo su competitividad en mercado industrial.

Por ello, es crucial implementar un procedimiento basado en la norma API 1104, que estandariza los procesos de soldadura en tuberías. Esta norma asegura la confiabilidad y calidad de las uniones soldadas usadas en el transporte y bombeo de hidrocarburos. Además, Thiraviam Rayapandi (2022) enfatiza la importancia de la selección meticulosa de parámetros, procedimientos, materiales y equipos de soldadura. De acuerdo con lo expuesto por Li Lifeng (2025), el control de la microestructura resultante en la zona afectada por el calor (HAZ, Heat Affected Zone) resulta esencial, ya que en el momento del calentamiento y enfriamiento propios del proceso de soldadura, especialmente cuando se repiten por múltiples pasadas o reparaciones puede producirse crecimiento de granos, disminución de la dureza y reducción de la tenacidad, lo que compromete la eficiencia y durabilidad de las uniones.

En consecuencia, la empresa GR Ingeobras se propone a implementar un procedimiento de soldadura WPS y su registro de calificación PQR bajo el cumplimiento con los estándares API 1104, con la proyección de reforzar sus procesos internos, disminuir costos y potenciar su competitividad en los sectores de acción.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Implementar un procedimiento de soldadura (WPS) y su registro de calificación (PQR) para la empresa GR Ingeobras S.A.S., en cumplimiento con los estándares de la norma API 1104.

3.2 Objetivos Específicos

- Comparar la norma API 1104 con estándares análogos de otras organizaciones internacionales.
- Definir las características eléctricas del equipo de soldadura de la empresa, en función del tipo de electrodo a utilizar.
- Elaborar el documento WPS de acuerdo con los requisitos técnicos establecidos en la norma API 1104.
- Evaluar la calidad de las soldaduras mediante ensayos mecánicos y técnicas de inspección no destructiva para la elaboración del documento PQR.

4. Metodología

Para la empresa Gr Ingeobras S.A.S. es importante implementar un procedimiento de soldadura conforme a la norma API 1104 mediante una comparación con otras normas internacionales para analizar los criterios de evaluación y requisitos que exige cada norma o código, esto con el fin de adaptar el procedimiento de soldadura buscando garantizar las mejores condiciones finales de producto. Se realiza la caracterización del equipo de soldadura de la empresa dependiendo del tipo de metal de aporte, así como parámetros esenciales que tienen que ir adjuntos al documento WPS para así continuar con el procedimiento de soldadura y verificarlo mediante el PQR realizando ensayos no destructivos y muestras que van a ser probadas en ensayos mecánicos.

4.1 Descripción de etapas y tareas

4.1.1 Etapa 1

Para el desarrollo del primer objetivo se comparará la norma API 1104 con distintas normas o códigos internacionales como la ISO 9606-1, ASME BPVC, UNE EN 287, API 650 y el código AWS D1.1 para establecer cuáles son los requisitos y criterios de evaluación buscando realizar un procedimiento compatible con varias normas, mejorando los requerimientos del procedimiento de soldadura a diseñar.

4.1.2 Etapa 2

Definir las características eléctricas del equipo de soldadura existente en la empresa GR Ingeobras S.A.S. para realizar la caracterización. Para ello, es necesario seleccionar el electrodo y validar los parámetros eléctricos para su correcta aplicación y configurar el equipo en función de estos parámetros. A partir de esto se determinará la cantidad de pases que se usarán en la unión de los tubos para pase de raíz, relleno y presentación, teniendo en cuenta cuál o cuáles son los mejores electrodos para la unión de la tubería. Esta selección depende de factores como: la disponibilidad

en el mercado, el más común y el que cuente con las propiedades mecánicas más semejantes al metal base.

4.1.3 Etapa 3

Para establecer que parámetros se utilizarán en la elaboración del WPS se revisará la norma API 1104 y se analizarán los requisitos técnicos que tienen que cumplirse e incluirse en el procedimiento de soldadura y cuales variables no son necesarias en el documento. En este apartado se determinarán parámetros como el precalentamiento, velocidad de avance, posición de la tubería, entre otros.

Al determinar cuáles son las variables que estarán en el formato, se elaborará el documento WPS detallado teniendo especificaciones de cada variable y que parámetros se deberán usar para llevar a cabo el procedimiento de soldadura.

4.1.4 Etapa 4

En esta última etapa se calificará el WPS conforme a los criterios de evaluación que la norma API 1104 exige. Para realizar el documento PQR y verificar la calidad de la soldadura, se llevarán a cabo ensayos no destructivos y pruebas mecánicas de probetas de soldadura. La norma especifica la cantidad y el tipo de probetas para cada ensayo, en función del diámetro del tubo y espesor de la pared. Posteriormente, se evaluará si el procedimiento de soldadura cumple con los requisitos de la norma API 1104, considerando los criterios de evaluación y los resultados de los ensayos realizados.

5. Marco de Referencia

La soldadura es uno de los procedimientos industriales más utilizados, conocer los efectos en los cambios de parámetros en la misma es de vital importancia para poder aprovechar al máximo sus beneficios y minimizar sus efectos negativos. Estos buscan asegurar calidad en los procesos y productos para los cuales se emplean; y eso se puede hacer a través del control de los parámetros utilizados, los cuales pueden ser variables por lo que garantizar un 100% de calidad es engañoso. Un WSP no garantiza calidad, pero si permite conocer la afectación de la variación de los parámetros en los resultados finales. Se puede tomar en cuenta el estudio citado por Elizabeth Hoyos (Ramirez Franco, 2023): “Variación en la aproximación a la especificación del procedimiento de soldadura y su efecto en la productividad”, realizado por Anna Ericson Öberga y Erik Åstrand; quienes analizaron las variaciones hacía la aproximación en la generación de un WPS; a través de una investigación de la variación de los parámetros en la soldadura y los subsiguientes resultados obtenidos.

Esta misma autora, (Ramirez Franco, 2023), trae a colación el trabajo de Karsten Madsen titulado “Welding Procedures - A Recipe for Success” y publicado en la revista científica: Welding Association's magazine Welding Journal. Este artículo propone unos protocolos de soldadura en donde se establece una guía de para el procedimiento incluyendo los insumos necesarios. Lo interesante de este artículo es que propone que el WSP puede ser empleado para el control de calidad de la soldadura, mejorar el procedimiento lo que mejora la productividad; a través de la definición y medición de la afectación de cada uno de los parámetros que se emplean en el procedimiento de soldadura. También resalta la importancia del taller y las herramientas empleadas

El Procedimiento Estándar de Soldadura, en inglés SWPS, suele ser un documento creado por entidades como la AWS o la ASME y que busca determinar un rango de parámetros específicos para el procedimiento, eso se hace a través de que cada uno esté sustentado en un AS 2.1 o un Reporte de Cualificación, PQR: Procedure Qualification Records en inglés. El procedimiento de soldadura fue verificado a través de aplicaciones repetitivas, por lo que puede ser replicado con seguridad. Si se llega a presentar un fallo, debe ser investigado desde el rediseño o cambio total del procedimiento; la publicación de estos cambios beneficia a toda la comunidad profesional que los emplean.

El código de soldadura es un compendio de materiales y procesos validados por entidades nacionales e internacionales como ICONTEC, ISO, AISI, SAE, AWWA, entre otras. Las más consultadas son la de la American Society of Mechanical Engineers, ASME que se emplea en las

industrias de recipientes a vapor, calderas y eléctrica; también se consulta mucho el código de la American Petroleum Institute, API que se emplea, como su nombre lo indica, en la industria petrolera; en este listado es necesario incluir a la American Welding Society, AWS, la cual se emplea particularmente en obra civil e infraestructura.

Los procedimientos de soldadura tienen una gran cantidad de materiales y aleaciones a las que se puede acceder en el mercado, por lo que el establecimiento de los parámetros específicos para el trabajo a realizar se hace necesario dada la amplia oferta existente. El procedimiento de soldadura, o WPS en inglés, debe contener como mínimo:

- Rangos de frecuencia, amperaje y voltaje
- Formas de limpieza requeridas
- Condiciones ambientales
- Tratamientos térmicos específicos antes, durante y después
- Materiales de base y su atmósfera de protección si es requerida
- Materiales de aporte, espesor y capacidad.

Las alternativas para el WPS son:

- Uso o modificación de un WPS existentes
- Seguir las recomendaciones de los fabricantes del material de aporte
- Por ensayo error, la menos recomendable
- Emplear la WPS estándar

Existen una serie de trabajos académicos que fortalecen los conceptos anteriormente mencionados: existen trabajos actualizados sobre la soldadura autógena, (Euroinnova, 2022), (Spiegato, 2022); soldadura en con materiales base de aporte metálicos: (Struers, 2022); procesos de soldadura en estado sólido: (Cantú, 2022) o (Lincoln Electric, 2017)

6. Marco Normativo

En esta sección se presentan las leyes, decretos, resoluciones, normas y reglamentos, entre otros, relacionados con las actividades propias de la pasantía, así como aquellas que pueden tener influencia en las mismas. Por ejemplo: NSR-10, RAS, ACI-318, Decreto 1082 de 2015.

6.1. Norma API 1104

La norma API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*), es una norma desarrollada por el American Petroleum Institute (API), como una guía para la soldadura de tuberías y equipos relacionados a la industria petrolera. Esta norma establece especificaciones para garantizar conexiones soldadas estables a lo largo del tiempo.

Su objetivo es establecer los requisitos para los procesos de soldadura utilizados en la fabricación, montaje y la reparación en tuberías para sistemas de transporte fluidos y gases a alta presión. Dentro de sus lineamientos se encuentran el procedimiento de soldadura WPS (*Welding Procedure Specification*), un documento que indica como el soldador debe realizar la unión de la tubería, y el PQR (*Procedure Qualification Record*), que verifica su validez a través ensayos mecánicos y pruebas no destructivas.

6.2. ISO 9712:2021

Esta norma aplica para realizar ensayos no destructivos mediante diferentes métodos como la inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografía, entre otros. Su objetivo es asegurar que el personal esté debidamente capacitado para garantizar la confiabilidad de las inspecciones. La norma establece tres niveles de certificación: Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3.

- **Nivel 1:** está autorizado para realizar ensayos específicos siguiendo unas instrucciones y bajo supervisión de un nivel 2 o en su defecto, nivel 3. Este nivel solo puede aplicar el método y registrar los datos, no interpretarlos.
- **Nivel 2:** tiene la capacidad de dirigir y supervisar los ensayos, así como interpretar los resultados obtenidos.
 - **Nivel 3:** puede definir los procedimientos de los ensayos en un proyecto y capacitar al personal. Es decir, puede ejecutar, interpretar, supervisar, diseñar, gestionar y liderar actividades relacionadas con los ensayos no destructivos.

7. Actividades Realizadas

En este apartado, se presenta un cronograma de actividades semanales desarrolladas por el pasante durante su período de pasantía. Dicho cronograma incluye la denominación de cada actividad junto con su descripción detallada, lo que permite llevar un control de las tareas realizadas en el cargo y asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto en colaboración con la empresa. Posteriormente, se adjuntan todas las memorias de cálculo necesarias, así como registros fotográficos que documentan las actividades ejecutadas y los logros alcanzados para la culminación del proyecto planteado.

Cabe destacar que el pasante desempeña funciones en su cargo como INGENIERO JUNIOR, participando en varios departamentos de ingeniería, cumpliendo con diferentes responsabilidades, y enriqueciendo su formación a través de la experiencia laboral en el sector de hidrocarburos. **Es notable destacar que por términos de confidencialidad de la empresa no está permitido divulgar proyectos y/o planos de ingeniería, solo se pueden exhibir los planos realizados por el pasante (Ver anexos).**

Tabla 1
Cronograma de actividades

	SEMANA	DESDE	HASTA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
INFORME PARCIAL 1 (SEMANA 1-17)	1	1/07/2024	6/07/2024	Inducción a GrIngeobras SAS	Conocimiento de las políticas e información técnica de la empresa, organización empresarial, reglamento de seguridad industrial y elementos de protección personal, cronograma semanal de la empresa y entrega de dotación.
	2	8/07/2024	13/07/2024	Reconocimiento de la empresa	Identificación de los servicios que ofrece Gr Ingeobras para sus clientes, brindando un panorama actual de las empresas bajo las cuales se están ejecutando proyectos. Este procedimiento es elemental para la adaptación del cargo al que será asignado.
	3	15/07/2024	20/07/2024	Acompañamiento y formación en el manejo de equipos para la liberación de estructuras e implementación de técnicas no destructivas	El ingeniero a cargo de estas pruebas capacitará al pasante para la utilización y calibración de equipos con el propósito de dar cumplimiento a los requerimientos exigidos por las empresas para las estructuras. El pasante deberá realizar ensayo de tintas penetrantes para verificar la calidad de las juntas, como la toma de rugosidad y espesores con un equipo que realiza estas funciones, así como un medidor de adherencia de pintura.
	4	22/07/2024	27/07/2024	Capacitación y práctica para la elaboración de un Dossier	Para la realización de un dossier de calidad el pasante debe liberar la estructura cumpliendo con estándares de calidad. Esto incluye la elaboración de planos de taller y si estos son aceptados, se procede a construir la estructura conforme al código AWS D1.1. Por otro lado, para la verificación de las juntas, el pasante debe realizar ensayos no destructivos como las tintas penetrantes, con el fin de asegurar la calidad de las juntas. Además, es necesario tomar muestras de rugosidad y medir espesores de pintura, de acuerdo con el espesor requerido por el cliente, y verificar la adherencia de la pintura a través una prueba de rayado. Todos estos procedimientos se documentan en formatos con su registro fotográfico y son anexados al dossier de calidad juntos con otras documentaciones como los certificados de los materiales, procedimientos de soldadura, certificados de la empresa, entre otros.

SEMANA	DESDE	HASTA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
5	29/07/2024	3/08/2024	Asignación de puesto de trabajo	Al pasante se le asigna el puesto de trabajo como "Ingeniero Junior" en el departamento de ingeniería, participará desde la medición en campo al diseño y construcción de estructuras para el desarrollo de planos de taller en el software SolidWorks y AutoCAD, desglose de cantidades para cotizaciones o compra de materiales en Excel, liberación de estructuras a partir de formatos de calidad para cada estructura ejecutada.
6	5/08/2024	10/08/2024	Revisión de la norma API 1104 y otras normas relevantes	Análisis de normas internacionales ISO 9606-1, ASME BPVC, UNE EN 287, API 650 y el código AWS D1.1 comparando los requisitos técnicos y criterios de evaluación mínimos con la norma API 1104 para complementar el procedimiento de soldadura y tener mayor confiabilidad. Se añadió ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes realizando inspección visual de la norma ASME BPVC para complementar el PQR.
7	12/08/2024	17/08/2024	Visita a campo "Plataforma Choke"	El pasante realiza una visita de campo para la empresa Pavimentos Andinos S.A en el clúster 89, ubicado cerca a la estación acacias. El motivo de la visita radica en un proyecto destinado a la construcción de dos plataformas choke para el acceso a las válvulas HCV bajo los requerimientos solicitados. Por ende, se realizó un levantamiento en campo para el diseño de planos de taller. A partir de esta información obtenida, se elaboró un desglose de materiales y cantidades necesarios para la compra, esto, con el fin de iniciar su fabricación.
8	19/08/2024	24/08/2024	Levantamiento de caseta	Se ejecuta una visita a la empresa Locargo para realizar el levantamiento de "Caseta Locargo" debido a que el cliente requiere una cotización para construir otra estructura similar acá en Colombia y no importarla desde Estados Unidos. Se determinan los materiales tomando medidas de la estructura ya existente y se toma un registro fotográfico para que el pasante posteriormente desarrolle el diseño en un software CAD con las cantidades de la estructura.
9	26/08/2024	31/08/2024	Diseño caseta lo cargo	Luego del levantamiento de la caseta se realiza el diseño en el software SolidWorks utilizando los materiales usados en la caseta ubicada en la empresa para hacer el sólido y desarrollar el desglose de materiales con su cotización a todo costo. Una cotización a todo costo significa que la empresa Ingeobras desarrolla todo el proyecto, con la compra de materiales, pintura y mano de obra. Las cotizaciones se realizan en Kg y se multiplica por el precio del kilo que este actualmente en el mercado.
10	2/09/2024	7/09/2024	Construcción planos de taller "API Barcaza 1,2,3,4,5" para la empresa Inmec P&C	La empresa Inmec P&C, requiere unas plataformas las cuales por debajo pasa tubería de alta presión. Estas plataformas se utilizan para evidenciar zonas de trabajo o en algunos casos para maniobrar válvulas y centros de control.
11	9/09/2024	14/09/2024	Desarrollo de un A.P. U	En la construcción "API Barcaza" se tuvo que hacer unos ajustes de estructuras ya que los planos de ingeniería no son algunas veces compatibles con lo que se está ejecutando en campo, por ende, se tuvieron que reajustar unas estructuras. Para modificar una estructura que ya está construida se debe realizar un A.P.U. (Análisis de precios unitarios) esto para saber el coste de este reajuste por lo que, si se tiene que agregar un material no se puede tan solo pesar el kilo debido a que tienen que volver a cortar, soldar, pintar, etc, por esto es necesario realizar un A.P.U.
12	16/09/2024	21/09/2024	Fabricación y liberación de "Plataforma Choke"	Cuando una plataforma está en su fabricación se deben tomar registros fotográficos para desarrollar el Dossier de calidad y así, el ingeniero de calidad pueda rectificar la estructura para pasar con el pago del proyecto. Para liberar la estructura se deben realizar distintos ensayos y pruebas para determinar la integridad y la calidad de la estructura.
13	23/09/2024	28/09/2024	Dossier de calidad "Plataforma Choke"	El pasante junto con el ingeniero encargado de END (Ensayos no destructivos) desarrollan el dossier de calidad, realizando tintas penetrantes, toma de rugosidad, toma de espesores y prueba de adherencia. Al ejecutar estas pruebas

SEMANA	DESDE	HASTA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	
				el pasante inicia a añadir estos resultados en los formatos que tiene la empresa Ingeobras con cada prueba para implementarla en el Dossier, en este documento van las evidencias fotográficas y toda la documentación pertinente para liberar la estructura.	
14	30/09/2024	5/10/2024	Visita a finca los Alpes	La empresa GR Ingeobras S.A.S. no solo realiza trabajos para el sector de hidrocarburos, también se desempeña en proyectos de agricultura. Por esto, el pasante realiza un levantamiento para diseñar una bodega en una finca de semillas. Se realiza la visita y se revisa el terreno con el ingeniero civil para determinar y conversar el tipo de bodega que se va a desarrollar, el pasante debe diseñar la bodega y el desglose de materiales para realizar la cotización.	
15	7/10/2024	12/10/2024	Diseños preliminares finca los Alpes	Para cumplir con la necesidad del cliente, se observan distintos diseños de estructuras a gran escala fabricadas. Esto porque la caseta que se debe fabricar debe tener unas medidas de 20 metros de largo, 12 de ancho y 10 de alto, debido a que la estructura debe soportar fuertes vientos y no puede tener columnas en el medio porque es necesario tener la apertura completa de las puertas cuando lleguen las mulas a descargar o guardarse, deben tener el espacio suficiente. El pasante realiza y investiga distintos tipos de estructuras para llegar a la estructura más conveniente en esa aplicación.	
16	14/10/2024	19/10/2024	Diseño final y cotización bodega finca los Alpes	Debido a el tamaño de la estructura, el pasante realiza más de 5 diseños para ser discutidos y analizar si son viables o no. La mejor opción para realizar la caseta es utilizando vigas HEA para las columnas, ya que el ensamble y soldadura se deben realizar en la finca, y no es eficiente realizar un cerchado por la demora que este tiene para fabricarse. Por esto, se utilizan vigas en las columnas y canales en C para el tejado, utilizando como correas perfiles rectangulares para soportar la teja. Toda esta estructura, deberá estar soportada por pilotes de más de 12 metros de profundidad en la tierra, para que pueda ser soportada con éxito.	
17	21/10/2024	26/10/2024	Visita Ingeniero residente "Pavimentos Andinos S.A." para discusión de contrato y actas pendientes	El pasante debe exponer las actas realizadas con sus objetivos en los contratos que se están ejecutando, evidenciando el porcentaje de avance del proyecto. Es necesario que el pasante escuche y participe en las charlas debido a que el presenta toda la documentación y el conocimiento de cada proyecto que se ha venido desarrollando.	
INFORME PARCIAL 2 (SEMANA 18-28)	18	28/10/2024	2/11/2024	Manejo de SolidWorks routing	En el software SolidWorks existen varias extensiones para desarrollar una serie de diseños o pruebas. En este caso este CAD tiene la herramienta SolidWorks Routing, que funciona en el sector de hidrocarburos para diseñar tuberías petroleras con diferentes válvulas, bridas, codos, entre otros accesorios. Esta herramienta se utiliza para diseñar líneas mecánicas, por esto, el pasante debe tener un manejo de esta herramienta y enseñanza para llevar a cabo diferentes diseños en distintas líneas de ingeniería.
	19	4/11/2024	9/11/2024	Diseño y planos de tuberías de alta y baja para la empresa "ANTROBE INGENIEROS S.A.S."	La empresa "ANTROBE INGENIEROS S.A.S. requiere hacer el diseño de dos muñecos de alta y baja para una empresa en ecuador, pero esta empresa no cuenta con diseñadores para llevar a cabo los planos para su documentación y es necesario subcontratar este servicio con GR INGEOBRAS. El pasante debe realizar el diseño de los Skids donde soporta con los dos muñecos y realizar los 4 planos necesarios para esta empresa, un plano por cada skid y un plano por cada tubería.
	20	11/11/2024	16/11/2024		
	21	18/11/2024	23/11/2024	Visita de los diferentes clústeres para la empresa	Durante la semana se realizó una visita a las distintas obras de la empresa Petrolabin S.A.S., con el fin de obtener una aproximación de las cantidades y tipos de estructuras presentes, tales como cerramientos, casetas, plataformas,

SEMANA	DESDE	HASTA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
22	25/11/2024	30/11/2024	Petrolabin S.A.S. para la fabricación de estructuras y remanufacturaación	soportes, entre otros. Como parte de sus funciones, el pasante debe efectuar la visita técnica correspondiente, así como la cotización de las estructuras mencionadas, incluyendo el cálculo del costo de remanufacturaación de los diferentes elementos.
23	2/12/2024	7/12/2024	Desarrollo del segundo objetivo del proyecto	Para el cumplimiento del segundo objetivo, es necesario seleccionar correctamente parámetros con el fin de establecer un procedimiento de soldadura que cumpla con la norma API 1104. Por esta razón, se diseñó una junta sencilla, con el objetivo de reducir costos operativos en caso de proyectos de gran magnitud, evitando así una alta inversión de tiempo en la preparación del bisel. Con este diseño, se debe seleccionar el electrodo en función de las propiedades mecánicas del tubo que se debe soldar, garantizando una junta de alta calidad. Esta elección depende de las necesidades de la empresa, la disponibilidad del electrodo en el mercado y la aplicación específica que se requiera. Luego de seleccionar el metal de aporte, se definen las características eléctricas del equipo de soldadura y las dimensiones del electrodo para una correcta ejecución del proceso de soldadura.
24	9/12/2024	4/12/2024		Un Monopozo es un sistema integral para el manejo de pozos, el cual se alimenta directamente de la línea de media tensión. Este sistema elimina la necesidad de construir y certificar una subestación eléctrica de media tensión (MV) en sitio, ya que permite su conexión directa al pósito. Actualmente, existen Monopozos SLA COL instalados en la Base Castilla.
25	16/12/2024	21/12/2024	Adecuamiento para Monopozo clúster 61	La empresa Petrolabin debe llevar a cabo la instalación de un Monopozo en el clúster 61, por lo cual contrata a la empresa GR INGEOBRAS para realizar la adecuación del sitio. El pasante está a cargo de la supervisión total de la obra, así como del control de cantidades y de todos los aspectos relacionados con el proyecto. Dentro de sus responsabilidades se incluyen: el cálculo de cantidades de obra, la adquisición de materiales y todas las actividades necesarias para la liberación de las estructuras, tales como la toma de espesores, medición de rugosidades, pruebas de adherencia, ensayos con líquidos penetrantes, elaboración del libro tubo, desarrollo del mapa de soldadura y la verificación de planos de taller.
26	23/12/2024	28/12/2024		
27	30/12/2024	4/01/2025	Cerramiento clúster 15	Para la adecuación del Monopozo, es necesario construir un cerramiento perimetral alrededor de este, basado de los planos de ingeniería. Con estos planos, el pasante realiza el desglose de materiales requerido para elaborar la cotización del cerramiento, teniendo en cuenta varios factores como la cantidad de módulos a fabricar, la longitud de cada módulo y la suposición de realizar ajustes durante la instalación en campo. Luego de esto, es necesario elaborar el plano de taller, ya que los planos de ingeniería, en muchas ocasiones, no coinciden completamente con las condiciones reales en campo. Esto pasa porque los planos de ingeniería están hechos con cálculos teóricos, pero ya en la obra casi nunca es igual, siempre hay algo que cambia. Cuando el pasante hace el plano de taller, lo manda al área de calidad y a los supervisores para que lo revisen. En esa parte ellos dan sus comentarios, si hay que cambiar algo o si ya se puede seguir con la fabricación de las estructuras.
28	6/01/2025	11/01/2025	Caja Recolectora Tipo 1 y Caja válvula Tipo 2	Una caja recolectora tiene como función recoger las aguas residuales, pluviales o de las cajas de inspección. Por su parte, la caja de válvulas se utiliza para proteger y facilitar el acceso a las válvulas y conexiones en los sistemas de tuberías. En el clúster 15 es necesario construir tanto una caja recolectora como una caja de válvulas. El tipo específico de cada una se determina según los planos de ingeniería, los cuales definen sus dimensiones y características. En el caso de la caja de válvulas, el diseño depende del número y tamaño de las tuberías que pasan por ella.

SEMANA	DESDE	HASTA	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	
INFORME PARCIAL 3 (SEMANA 29-35)	29	13/01/2025	18/01/2025	Caseta para gabinetes de instrumentación	Una caseta para gabinetes es una estructura diseñada para proteger equipos frente a de diferentes condiciones ambientales y de seguridad. En este caso, se trata de una caseta destinada para gabinetes de instrumentación, dentro de los cuales se instalará una pantalla PLC. Para su fabricación, se entregan los planos de ingeniería y el pasante debe realizar la cotización correspondiente al plano, siguiendo con esto, se revisa la caseta que está compuesta por malla eslabonada en sus laterales, con el fin de prevenir robos, y una teja arquitectónica, que permite una protección contra el sol. Esto pasa para proteger de un robo y la teja arquitectónica para cubrirla del sol. Dado que los planos de ingeniería no especifican varios detalles, como el tipo de armado o el procedimiento de izaje, es fundamental que el pasante elabore un diseño que contempla estos detalles.
	30	20/01/2025	25/01/2025	Ensayo de esfuerzos "PLATAFORMAS OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO FILSTROS CASCARA DE NUEZ"	El objetivo de este proyecto es verificar la resistencia de esfuerzo en la Estructura metálica Pasarelas (Rejilla Tipo T- Barandas-Escaleras) de Filtro Cascará de Nuez; Base Apiay; con herramienta Programa SolidWorks; cuyo cálculo se efectuará en las uniones, conexiones, soldaduras, juntas; presentes en dicha estructura. Este trabajo nace de la necesidad de la empresa MR INGENIEROS SAS; quien requiere el cálculo de esfuerzo de la estructura metálica para salvaguardar las cargas vivas y cargas muertas en caso de mantenimientos preventivos y correctivos de las diferentes bombas de actividad industrial. Para cumplimiento de este objetivo principal se han alcanza los siguientes objetivos parciales
	31	27/01/2025	1/02/2025		1.) Modelado y/o planos de la estructura. 2.) Realización de cálculo estructural mediante programa SolidWorks. 3.) Desarrollo de los documentos técnicos necesarios para la ejecución del proceso. Adicionalmente; una vez realizado el cálculo de esfuerzo; se emitirá los detalles y las sugerencias que puedan surgir del ensayo.
	32	3/02/2025	8/02/2025	Desarrollo objetivo 3	Para el desarrollo de este objetivo, se realizó la investigación de las variables esenciales y no esenciales que debían incluirse en el WPS. Posteriormente, se seleccionaron y diseñaron las variables faltantes para completar el procedimiento de soldadura. Es necesario aclarar que, al realizar las soldaduras, se tomará nuevamente el tiempo entre pases, el cual será ajustado en el documento WPS. Una vez completado este proceso, se procederá con el siguiente y último objetivo: verificar las soldaduras realizadas mediante la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos.
	33	10/02/2025	15/02/2025	Skid de compresor con acumulador empresa ANTROBE	Se llevó a cabo el levantamiento de un skid para un compresor de tornillo Rotorcomp con variador LGSD-37D de 50 HP y 440 V, destinado a la empresa SNF. El sistema incluye un acumulador. Las mediciones se realizaron en campo, y con base en ellas se desarrolló el diseño del skid, el cual será enviado a Ecuador.
	34	17/02/2025	22/02/2025	Manejo de software Inventor 3D Autodesk	El software Inventor 3D de Autodesk, permite modelar y simular ensamblajes mecánicos, siendo una herramienta destacada por la capacidad de integrarse con otros programas de Autodesk, como AutoCad o Naviworks, lo que permite tener una amplia gama de recursos y facilita el trabajo colaborativo en proyectos.
	35	24/02/2025	1/03/2025		Inventor es similar a Solidworks para el modelado de estructuras. En la práctica realizada por el pasante, era necesario generar un visualizador en Naviswork, por lo cual se debía trabajar en Inventor o AutoCad Plant 3D. Se optó por utilizar Inventor debido a su similitud con SolidWorks y su capacidad de exportar modelos compatibles con Navisworks de forma eficiente.

Nota. Las actividades fueron propuestas y ajustadas de acuerdo a las acciones concertadas entre la empresa y el practicante.

7.1 Desarrollo objetivo 1

De acuerdo con el primer objetivo, se debe comparar la norma API 1104 con normas análogas de otras organizaciones internacionales para establecer los criterios de evaluación en el procedimiento de soldadura. Para su desarrollo, se realizó una investigación de las normatividades existentes en la industria de hidrocarburos con el fin de comprender su funcionamiento. A continuación, la Tabla 2 especifica las normas más relevantes y utilizadas actualmente.

Tabla 2

Descripción de normas

Ítem	Año	Norma	Descripción
1	2021	API 1104	Establece los requisitos para la soldadura por arco y gas en tubería utilizadas en la compresión, bombeo y transporte de petróleo. Aplica a tuberías nuevas o en servicio, considerando procesos de soldadura manual, semiautomática, automática o combinación de estos. (American Petroleum Institute (API), 2021)
2	2017	ISO 9606-1	Define los requerimientos para la calificación de soldadores en uniones de acero. Proporciona parámetros para su calificación, independientemente del lugar de aplicación. No contempla la soldadura automática, ya que no establece directrices para estos procedimientos. (ISO 9606-1: Qualification testing of welders-Fusion welding-Part 1: Steels, 2017)
3	2023	ASME BPVC	Especifica los lineamientos para la construcción, mantenimiento y producción, transporte y protección de recipientes a presión cuando superan vapores mayores a 15 psi y calderas de agua que deben trabajar a presiones superiores a 121 °C. Determina los materiales a utilizar como los ferrosos, no ferrosos y materiales de aporte. Esta norma no solo define recipientes a presión de aceros si no de distintos recipientes a presión como plástico reforzado con fibra. En la industria de hidrocarburos se maneja la subsección de la ASME BPVC sección IX para los procedimientos de soldadura y calificaciones para recipientes a presión. (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2023a)
4	2011	EN ISO 4063	Describe técnicas de soldadura para la unión de juntas soldadas, incluyendo la mejor posición para el soldador. Detalla procesos como soldadura con soplete, plasma, TIG y MIG. (International Organization for Standardization (ISO), 2023)
5	2019	API 650	Especifica el diseño, construcción e instalación de tanques cilíndricos verticales de acero para el almacenamiento de fluidos no refrigerados. Aplica a presiones atmosféricas menores a 18 kPa y temperaturas inferiores a 93°C. (American Petroleum Institute (API), 2019)
6	2020	AWS D1.1	Regula la construcción y transporte de estructuras de acero soldadas sometidas a cargas estáticas y dinámicas. No aplica a aceros con espesores menores a 1/8", recipientes a presión ni tuberías. (AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code-Steel, 2020)

Nota. La información fue agrupada de acuerdo con las normas originales emitidas por organismos internacionales.

Posteriormente, se lleva a cabo la comparación de los requisitos técnicos de cada norma y los criterios mínimos de evaluación a unificar para garantizar el cumplimiento de las exigencias de la empresa mediante el desarrollo del procedimiento de soldadura conforme a la norma API 1104 en conjunto de consideraciones que se podrían adicionar de otras normas. Considerando que integrar los distintos códigos o normas en su solo procedimiento de soldadura representa un mayor respaldo y validación para la ejecución de proyectos.

La norma API 1104 establece criterios mínimos de evaluación como la elaboración de probetas, las cuales son sometidas a ensayos mecánicos como pruebas de tracción, rotura y doblaje guiado, con la proyección de analizar el procedimiento de soldadura diseñado. Mediante estos ensayos, se ratifica el cumplimiento de los parámetros seleccionados de acuerdo la norma y sus lineamientos.

Los resultados de los ensayos deben cumplir con los siguientes requisitos: Para el caso de la prueba de tracción y rotura se deben alcanzar penetraciones y fusiones completas, donde los bolsillos de gas no deben exceder 1/16” ni superar el 2% del área estimada; además, las inclusiones de escoria no deben ser mayores a 1/32” de profundidad y no superar 1/8”, dentro de otros aspectos, se exige 1/2” de metal sano entre inclusiones. En contraste, la prueba de dobladura de raíz y cara, es aceptable siempre y cuando no surja ningún defecto superior a 1/8”, en cuanto a las fisuras, las que sean menores a 1/4” que se formen en el radio exterior del dobladura no tienen presentes, bajo la excepción de que muestre un defecto considerable. Todas las probetas deben cumplir con estos requisitos para garantizar su validez. (American Petroleum Institute (API), 2021).

Adicionalmente, para que las probetas sean aptas, deben presentar una resistencia no inferior a la resistencia mínima del metal base y la fractura de esta debe ocurrir fuera de la zona soldada (American Petroleum Institute (API), 2021). Estos son los criterios mínimos de aceptación para efectuar trabajos conforme a la norma API 1104 sin embargo, el procedimiento de soldadura puede ampliar su alcance a través del complemento con otros estándares normativos.

En este sentido, se realiza una revisión de las normas más relevantes del sector Oil & Gas para identificar criterios que pudieran adicionarse al procedimiento de soldadura. Se encuentra que los códigos ISO 9606-1, ASME BPVC, UNE EN 287, API 650 y AWS D1.1 cumplen los requisitos técnicos y criterios de evaluación mínimos para el desarrollo de procedimientos de soldadura en sus respectivos ámbitos, aunque, estas normas presentan similitudes con la norma API 1104, ya que todas realizan ensayos mecánicos, aunque no necesariamente los mismos.

Algunas solo requieren ensayos de tracción, mientras que otras aplican pruebas de sección reducida.

En particular, la norma ASME BPVC, además de requerir la fabricación de probetas para ensayos mecánicos, establece la inspección visual de las uniones soldadas mediante ensayos no destructivos. Dentro de esta normativa, la Sección V, Artículo 6 especifica los procedimientos para los ensayos por líquidos penetrantes. Por ello, el procedimiento de soldadura que se implementará incluirá inspección visual basada en esta norma, con tiempos de evaluación no menos de 10 o más de 60 minutos, dependiendo del material. Para el acero, el tiempo de penetración será de 5 minutos, asegurando mayor confiabilidad en el proceso (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2023b).

Para la calificación del procedimiento de soldadura, se tomarán como base los criterios mínimos establecidos en la norma API 1104, incorporando los lineamientos de la ASME BPVC Sección V, Artículo 6. Se determinarán las dimensiones y cantidades de probetas necesarias para los ensayos mecánicos y pruebas requeridas, conforme a la Tabla 2 “Tipo y numero de probetas para prueba de calificación del procedimiento”, en la cual se especifican los ensayos aplicables según el diámetro del tubo.

Tabla 3

Tipo y número de probetas para prueba de calificación del procedimiento

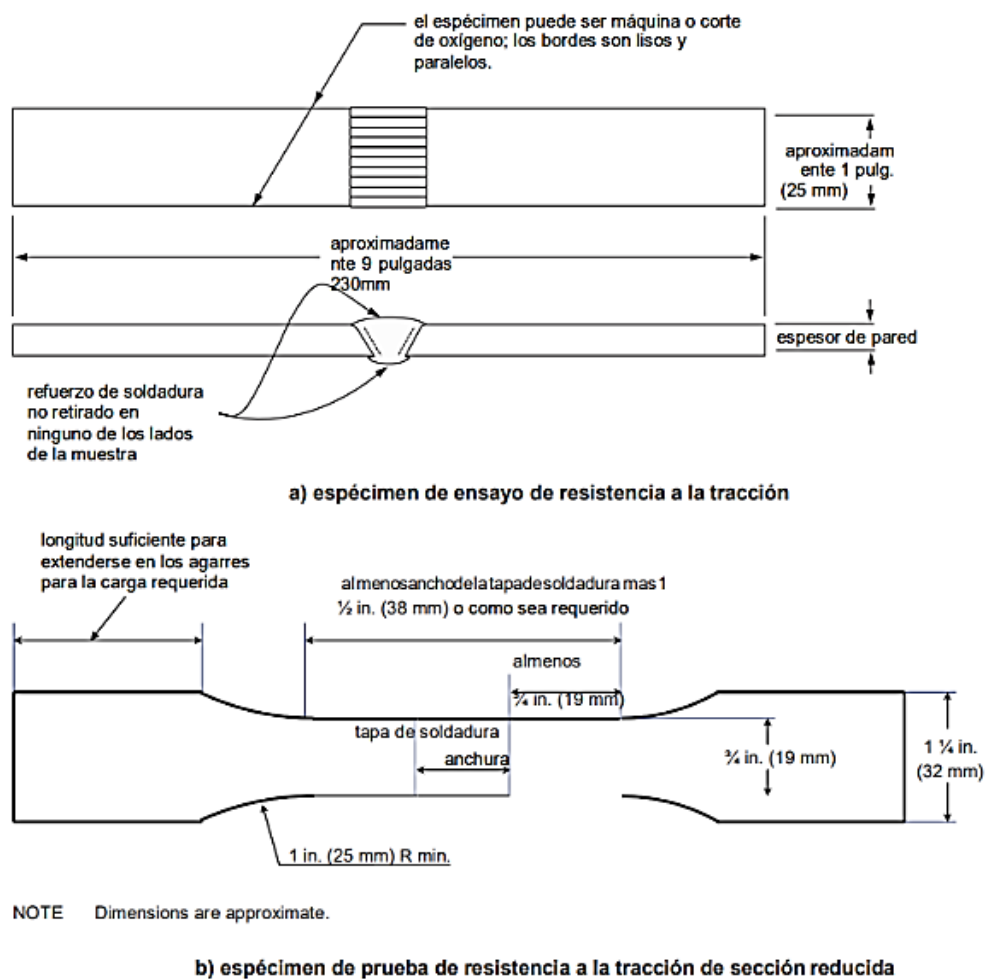
Diámetro exterior de la tubería		Numero de especímenes					
in.	mm	Resistencia a la tracción	Nick Break	Curva de raíz	Cara doblada	Curva lateral	Total
espesor de pared ≤ 0.500 in. (12.7 mm)							
<2.375	<60.3	0 ^b	2	2	0	0	4 ^a
2.375 to 4.500	60.3 to 114.3	0 ^b	2	2	0	0	4
>4.500 to 12.750	>114.3 to 323.9	2	2	2	2	0	8
>12.750	>323.9	4	4	4	4	0	16
espesor de pared > 0.500 in. (12.7 mm)							
≤4.500	≤114.3	0 ^b	2	0	0	2	4
>4.500 to 12.750	>114.3 to 323.9	2	2	0	0	4	8
>12.750	>323.9	4	4	0	0	8	16
<small>A de cada una de las dos soldaduras de prueba, se toma una muestra de rotura de muesca y una curva de la raíz, o para tubos con un diámetro menor o igual a 1.315 pulg. (33.4 mm), se toma una muestra de resistencia a la tracción de sección completa.</small>							
<small>b Para materiales con SMYS mayores que el material especificado como API 5L Grado X42, se requiere un mínimo de una prueba de tracción.</small>							

Nota. Tomado de API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities (American Petroleum Institute, 2021).

Para llevar a cabo el procedimiento de soldadura, se requiere la fabricación de ocho probetas asignadas de la siguiente manera: dos para ensayos de rotura, dos para ensayos de tracción, dos para pruebas de curvatura en la raíz y dos para pruebas de curvatura en la cara doblado. Es notable destacar que esta cantidad fue determinada acorde al diámetro exterior del tubo, que es de 6 pulgadas y que el dimensionamiento de cada probeta está establecido en la norma API 1104 para cada tipo de ensayo.

A continuación, se muestran las dimensiones de la probeta para cada ensayo mecánico. Para el ensayo de tracción las dimensiones de la probeta están definidas a partir de este diseño:

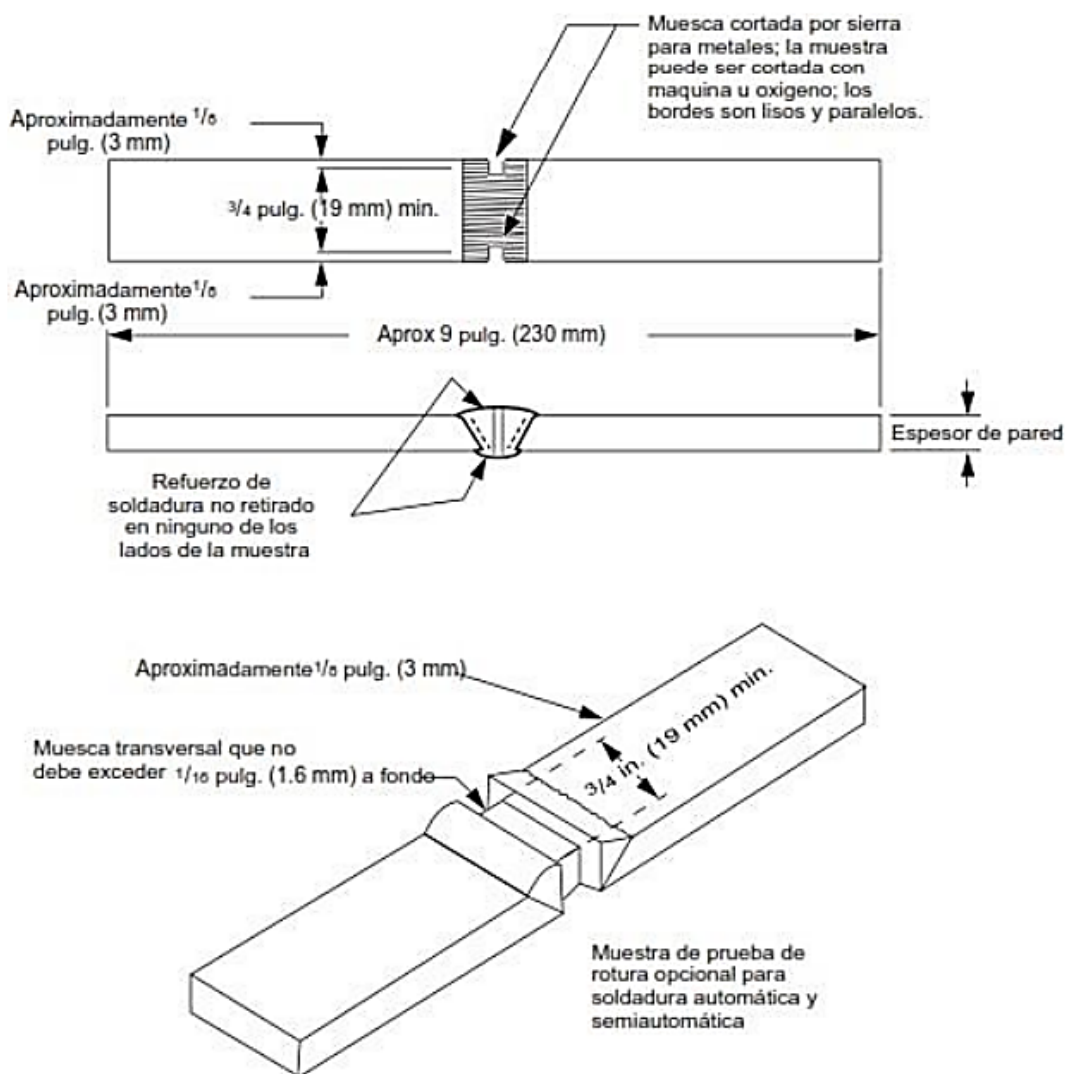
Figura 2
Probeta ensayo de tracción



Nota. Tomado de API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities (American Petroleum Institute, 2021).

Para el ensayo de rotura las dimensiones para su fabricación están definidas por medio de esta ilustración:

Figura 3
Probeta ensayo de rotura

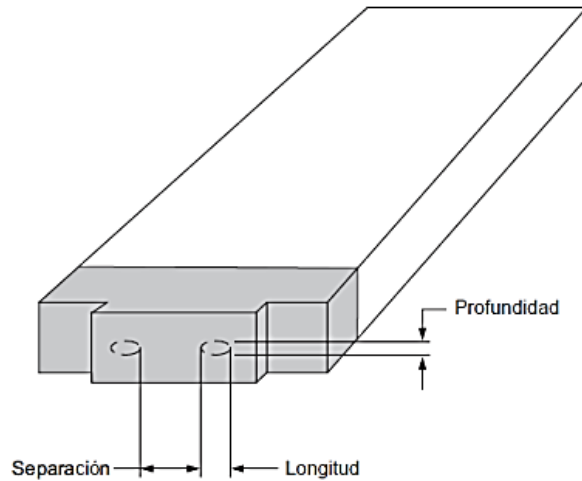


Nota. Tomado de API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities (American Petroleum Institute, 2021).

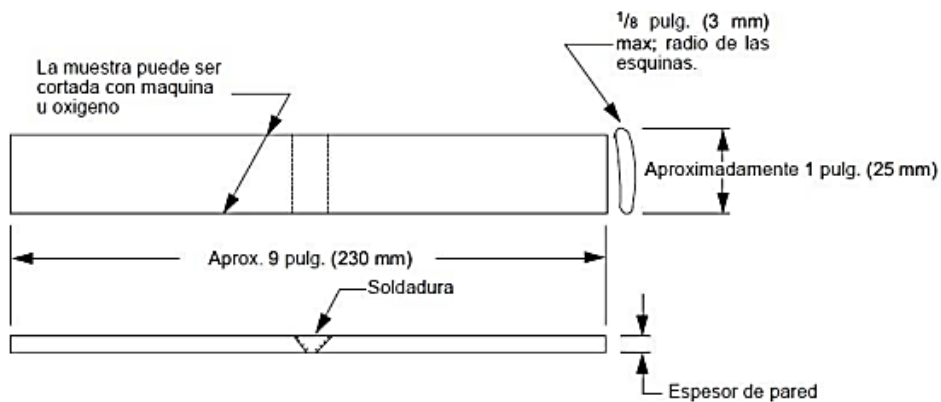
La fabricación de la probeta para el ensayo de curva de raíz y cara se realiza de acuerdo con este diseño:

Figura 4

Probeta ensayo curva raíz y cara



NOTA. Se muestra una muestra de prueba de rotura; sin embargo, este método de dimensionamiento se aplica también a muestras rotas de pruebas de soldadura de filete y tensión.



Nota. Tomado de API 1104: Welding of Pipelines and Related Facilities (American Petroleum Institute, 2021).

Estas probetas serán fabricadas y sometidas a pruebas mecánicas. En tal caso de que alguna no cumpla con los requisitos establecidos, existe la posibilidad de una fabricarla nuevamente y repetir la evaluación; siempre y cuando se determine que hubo fallos en la ejecución del procedimiento de soldadura o en la prueba misma.

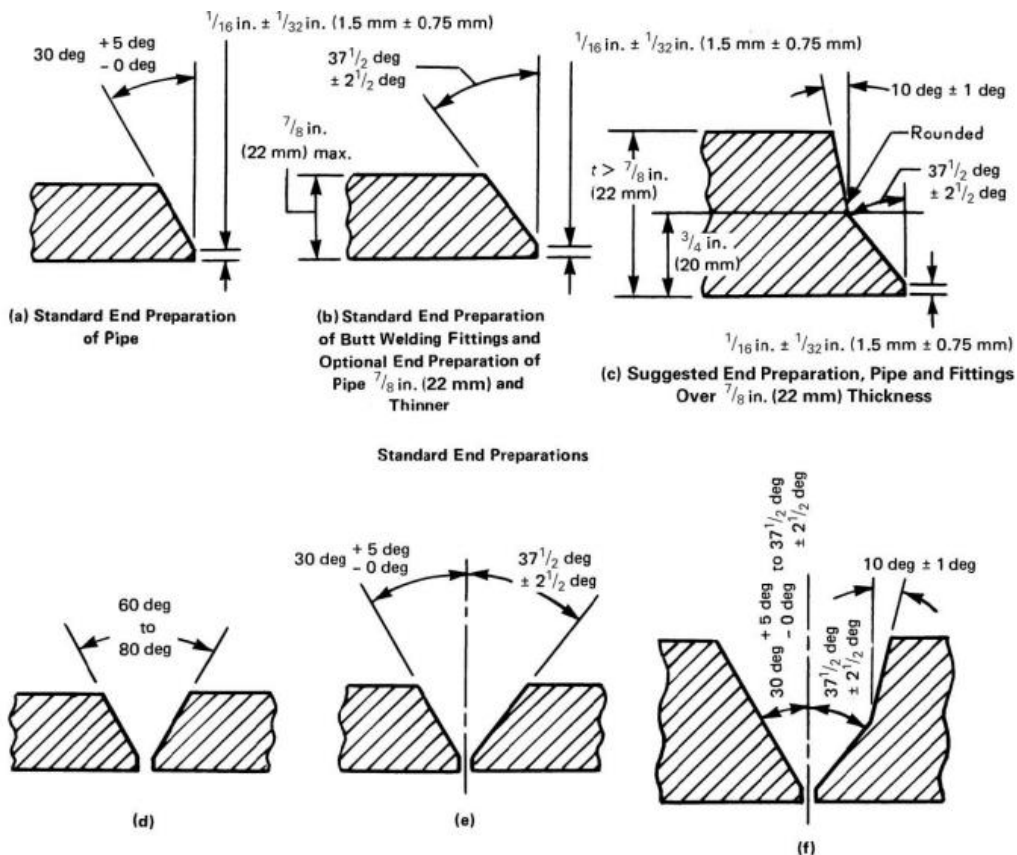
7.2 Desarrollo objetivo 2

Para cumplir con el segundo objetivo, es necesario definir el tipo de electrodo como las características eléctricas que requiere el procedimiento de soldadura, aspectos que deben quedar

especificados en el WPS correctamente conforme a sus lineamientos establecidos. Como punto de partida, se debe elaborar el diseño de la junta, ya que con esto se determinará el tamaño del electrodo, la cantidad de pases y los parámetros que debe estar el equipo de soldadura.

El diseño de la junta se realiza conforme a la norma ASME B31.4, la cual establece que, en tuberías de igual espesor de pared, es posible utilizar diferentes tipos de preparación de biseles dependiendo de las necesidades operativas o de producción de la empresa. Para la empresa GR Ingeobras S.A.S., se busca una preparación que minimice los tiempos de biselado y facilite el trabajo del soldador, por esto se opta por un diseño de junta sencillo que permita una ejecución eficiente sin poner en riesgo la integridad de la unión. A continuación, se presenta un esquema de diferentes diseños de juntas para tuberías de igual espesor, conforme a dicha la norma ASME B31.4.

Figura 5
Diseño de juntas para pared de igual espesor

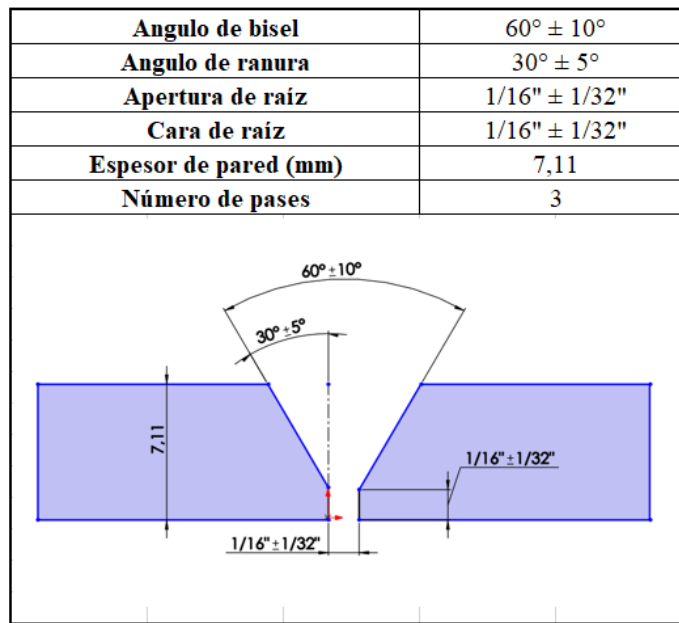


Nota. Tomado de “ (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2022)”.

Dado que la empresa busca reducir los tiempos de preparación para trabajos extensos se ha decidido utilizar un diseño de junta tipo ranura en V sencilla. Está diseño permite al soldador alinear con más brevedad los tubos y realizar los pases de manera continua, sino que también minimiza el tiempo invertido en la preparación del bisel. En la siguiente figura se detalla el diseño, donde se observa que la junta contara con un ángulo de bisel de $60^\circ \pm 10^\circ$, lo cual permite un ángulo de ranura final de $30^\circ \pm 5^\circ$, acompañado de una apertura de raíz de $1/16'' \pm 1/32''$ y una cara de raíz de la misma dimensión.

La pared del tubo presenta un espesor de 7,11 mm y conforme a este diseño se estiman tres pases de soldadura para completar la unión.

Figura 6
Diseño de la junta



Una vez definido el diseño de la junta, se procede a seleccionar el electrodo dependiendo directamente del tipo de tubo y del espesor de pared. Para comenzar con la selección, es necesario las propiedades mecánicas del metal base, ya que estas determinan que tipo de metal de aporte lograra la fusión optima durante el proceso de soldadura. La empresa GR Ingeobras S.A.S. requiere realizar la unión de tuberías de 6 pulgadas de diámetro y SCH40 (7,11mm) en la pared, con esto, se identifica el tipo de material a soldar con sus propiedades mecánicas, lo que permite avanzar al análisis de los electrodos que ofrezcan el mejor desempeño dependiendo de su compatibilidad y resistencia mecánica.

Teniendo en cuenta que el material a unir es acero al carbono, el próximo paso es seleccionar el electrodo correcto, asegurándose de que sea compatible con el metal base. Por ello, no basta con que el electrodo opere adecuadamente durante la unión, sino que la soldadura resultante debe poseer la resistencia mecánica y tenacidad requeridas.

Para hacer esta elección se usa como guía la norma AWS A5.1, que clasifica los electrodos revestidos para aceros al carbono, y la AWS A5.5, que agrupa los electrodos para aceros de baja aleación. Estos también pueden emplearse en aceros al carbono porque su composición química es muy similar, solo que contienen pequeñas cantidades de elementos de aleación como molibdeno, manganeso o níquel. Estas aleaciones no provocan incompatibilidad con el acero base, aunque mejoran las propiedades mecánicas del metal depositado, incrementando su resistencia, tenacidad y habilidad para resistir fisuras.

Figura 7
Guía de electrodos para soldar WEST ARCO

Especificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (ksi)	Límite de Fluencia (ksi)	Elongación (%)	Resistencia al Impacto Charpy con entalle en V	Posición para soldar	Tipo de Contorno	AMPERIOS			
										3/32"	1/8"	5/32"	3/16"
ELECTRODOS REVISTIDOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO (AWS A5.1)	E6010	XL 610	Es un electrodo de alta penetración y rápida solidificación. Para soldar aceros de bajo carbono, lámina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.	62.000 72.000	52.000 62.000	22 al 33	T en °C Resistencia al Impacto LB -29 27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-115	90-160	120-210
	E6010	ZIP 10T	Es un electrodo de muy buena penetración, con polvo de hierro, buena calidad radiográfica especialmente diseñado para oleoductos, gasoductos, construcciones navales, estructuras de acero y recipientes a presión.	62.000 72.000	52.000 62.000	22 al 33	-29 27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-120	90-155	120-180
	E6011	ACP 611SS	Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc. Especialmente pases de penetración.	63.000 74.000	52.000 60.000	27 al 35	-29 27 a 100	TODAS	ac o dcep	50-80	70-115	90-160	120-210
	E6013	SUPER SW 613	Construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamblaje de carrocerías y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 28	20 40 a 110	TODAS	ac, dcep o dcen	60-100	90-130	120-160	
	E6013	SW 613	Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventanas y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 65.000	22 al 29	20 50 a 110	TODAS	ac, dcep o dcen	50-90	80-120	110-160	130-210
	E6013	SW 10	Electrodo de tipo europeo de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieran poca penetración. Se emplea para construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamblaje de carrocerías y ornamentación en general. Puede emplearse la técnica de amastre para juntas planas y horizontales.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 28	20 40 a 110	TODAS	ac, dcep o dcen	60-100	90-130	120-160	
	E7014	ZIP 14	Construcción de maquinaria, marcos de máquinas, implementos agrícolas, trabajos de ornamentación, tubería, recipientes de presión y sus accesorios. Equipos de ferrocarril, construcciones navales y soldadura de aceros estructurales.	70.000 80.000	58.000 68.000	22 al 25	20 50 a 100	TODAS	ac, dcep o dcen	70-110	110-150	120-200	175-275
	E7024	ZIP 24	Puentes y equipos pesados, equipo de construcción, implementos agrícolas, tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, maquinaria de minería, carros de ferrocarril y construcción naval y en general para aceros de bajo contenido de carbono.	70.000 80.000	60.000 70.000	22 al 25	20 45 a 100	PLANA Y HORIZONTAL EN FILETES	ac, dcep o dcen		140-180	180-250	225-300
	E7018-1	WIZ 18	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lb/pulg ² de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión especialmente cuando se requiere alta resistencia al impacto a bajas temperaturas.	70.000 80.000	58.000 70.000	22 al 36	-29 100 -46 60	TODAS, excepto progresión descendente	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E7018	WIZ 18 S	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lb/pulg ² de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril, etc.	72.000 84.000	62.000 72.000	24 al 36	-29 70	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
ELECTRODOS REVISTIDOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJA ALEACIÓN (AWS A5.5)	E7010-A1	ZIP 710 A1	Tubería, tanques de alta presión, calderas y aplicaciones a las temperaturas de servicio típicas de los aceros con 0.5% de molibdeno. Aceros de tipo API 5LX grados X42, X46 y X52.	70.000 90.000	58.000 68.000	22 al 32	0 60 a 110	TODAS	dcep	50-80	90-120	120-155	150-180
	E8010 G	XL 810 G	Tuberías y accesorios en aceros API 5LX grados X56, X60 y X65 y otros aceros de resistencia a la tracción mínima especificada de hasta 80 ksi.	80.000 92.000	67.000 77.000	22 al 29	-10 62 a 100 -29 30 a 70	TODAS	dcep	50-80	90-120	120-155	150-180
	E9010 G	XL 910 G	Tuberías de acero API 5LX-X65 o 5LX-X70 y otros aceros similares de resistencia a la tracción mínima especificada de hasta 90 ksi.	90.000 100.000	77.000 87.000	18 al 24	0 30 a 100	TODAS	dcep			120-155	150-180
	E7018-A1	WIZ 718 A1	Se usa en soldadura de aceros ASTM A-250, A-369 grado FPI, A-336 clase F1 y otros con contenido de molibdeno de 0.5% empleados a temperaturas de servicio intermedias.	77.000 85.000	63.000 72.000	27 al 33		TODAS	ac o dcep		100-145	135-200	150-230
	E7018 G	WIZ 18 G	Diseñado especialmente para la soldadura de tubería API 5LX grados X60 y X65 cuando se requiere alta resistencia al impacto a temperaturas del orden de 40° C.	mínimo 77.000	mínimo 65.000	mínimo 22	-46 75	TODAS	ac o dcep	80-100	90-145	120-160	
	E7018-W1	WIZ 718 W1	Se utiliza en aplicaciones donde se requiere especial resistencia a las condiciones atmosféricas en la soldadura de aceros ASTM A588, A242, A441, A572 grados 42 y 50 y aceros con contenido de cobre, cuya resistencia a la tensión no supere 70 ksi.	70.000 82.000	57.000 70.000	25 al 30	-18 30 a 140	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	
	E8018-B1	WIZ 818 B1	Se utiliza para soldar aceros de 0.5% cromo y 0.5% molibdeno tales como los ASTM A-335 Grado P2, A-369 FP2, A-426 CP2, A-213 grado T2 y A-356 grado 5. También se puede usar para soldar otros aceros de baja aleación con resistencia a la tracción en el rango de 50 a 56 kgf/mm ² (70 a 80 ksi).	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 32		TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	
	E8018-B2	WIZ 818 B2	Trabajos de alta resistencia, partes expuestas a medianas temperaturas, se recomienda para los aceros ASTM A-335 P12, A-369 grados F11 y F12, A182 grados F11 y F12, A-217 Gr WC11 y similares.	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 28		TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E8018-C1	WIZ 818 C1	Es ampliamente usado en tanques y tuberías que operan a bajas temperaturas (-75°F), aceros que contienen 2% de Níquel y aceros ASTM A-203 grados A y B.	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 34	-59 50 a 130	TODAS, excepto progresión descendente	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E8018-C2	WIZ 818 C2	Para soldar aceros con 2.5 y 3.5% de Níquel. Se emplea en la fabricación de tanques, tuberías y otras piezas que van a ser sometidas a temperaturas hasta de 70° C. Para aceros tales como el ASTM A-203.	80.000 90.000	67.000 77.000	24 al 34	-73 30 a 70	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E8018-C3	WIZ 818 C3	Puede ser usado para soldar aceros ASTM A-148 grado 80-50, y similares. Se utiliza también para aceros de resistencia hasta de 80 ksi, especialmente si debe trabajar a bajas temperaturas.	80.000 90.000	67.000 77.000	24 al 32	-40 30 a 100	TODAS, excepto progresión descendente	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E9018-B3	WIZ 918 B3	Se recomienda en aplicaciones tales como: ASTM A-182 Grado, F-22, A-213 Grado T3b y otros aceros en piezas que van a trabajar a temperaturas de servicio elevadas.	80.000 100.000	77.000 87.000	20 al 30		TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E9018-G	WIZ 918 G	Se recomienda aplicar en aquellos aceros cuya resistencia a la tracción sea hasta de 90.000 psi. Se puede trabajar en aceros fundidos de alta resistencia mecánica, en aceros para plantas nucleares, etc.	90.000 100.000	77.000 87.000	20 al 30	-20 40 a 160	TODAS, excepto progresión descendente	ac o dcep		100-145	135-200	170-270
	E9018-D1	WIZ 918 D1	Especialmente adecuado para la unión de aceros manganeso-molibdeno como el ASTM A302 grado B y en general aceros de bajo carbono o de baja aleación con resistencia a la tracción mínima especificada hasta de 90 ksi, con requisitos de resistencia al impacto a baja temperatura.	90.000 105.000	77.000 95.000	24 al 32	-51 27 a 140	TODAS	ac o dcep		100-145	135-200	170-270
	E11018-M	WIZ 1118 M	Especial para soldar aceros de baja aleación y alta resistencia, como el HY-80. Soldadura que brinda alta resistencia al impacto en piezas sometidas a bajas temperaturas. Se usa en carcasas de molinos, palas mecánicas, estructuras de maquinaria, etc.	110.000 120.000	98.000 110.000	20 al 30	-51 40 a 100	TODAS, excepto progresión descendente	dcep	70-100	100-145	135-200	170-270

Nota. Tomado de Guía de electrodos para soldar WEST ARCO, por West Arco, s.f., <https://www.westarco.com.co>

A partir de ahí, es necesario comparar los valores de resistencia a la tracción, limite elástico y su elongación entre la tubería y los metales de aporte clasificados en la norma, de este modo para que se pueda escoger un electrodo que garantice un buen desempeño durante la soldadura.

Tabla 4

Propiedades mecánicas tubería ASTM A53 / ASTM A106 / API 5L grado B

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la Tracción, min	60000 PSI (415 MPa)
Fluencia, min	35000 PSI (240 MPa)

Nota. Tomado de Ficha técnica de tuberías ASTM A53 / ASTM A106 / API 5L, por Fiorella Representaciones S.A.C., s.f., <https://fiorellarepresentaciones.com>

Considerando estos factores y evaluando las características mecánicas de la tubería, se establece que la opción más adecuada para este proceso de soldadura es el metal de aporte E6010 ZIP 10T para el primer pase, que sería el de raíz, ya que posee una resistencia mínima a la tracción similar a la de la tubería y es empleado principalmente para recipientes a presión. Además, debido a su capacidad para penetrar profundamente en el material y a su buena estabilidad de arco durante la soldadura, este electrodo es muy popular y tiene una alta fiabilidad. Es usado comúnmente en el sector de hidrocarburos para líneas de flujo y oleoductos.

Para los demás pases se empleará el electrodo 7010-A1, selección hecha porque es usado para tuberías de alta presión y contiene un poco de molibdeno (aproximadamente 0,5%), lo que mejora las propiedades mecánicas del metal depositado, aumentando su resistencia a la tracción, tenacidad y rendimiento a altas temperaturas. Además, según las especificaciones de la normativa AWS A5.1 y las prácticas sugeridas de lectura en el Procedure Handbook of Arc Welding de Lincoln Electric (Lincoln Electric, 2017), el electrodo E6010 es el elemento esencial que facilita la penetración y el arco indicado para el pase de raíz, sin embargo, podría generar socavaciones en el pase de relleno.

Una vez elegidos el electrodo E6010 ZIP 10T y el electrodo E7010-A1, es esencial definir las dimensiones de los metales de aporte y los parámetros eléctricos necesarios que debe tener el equipo de soldadura para llevar a cabo correctamente el procedimiento. La selección del diámetro

del metal de aporte se basa exclusivamente del diseño de la junta, ya que ahí se determinan las dimensiones del volumen que debe ser rellenado, por esto, se usará el electrodo de 1/8” para el pase de raíz y pase caliente, debido a que su menor diámetro permite generar un arco más concentrado y tener una alta penetración, lo que ayuda a tener la primera unión de la tubería con una buena fusión inicial. Además, este diámetro es comúnmente utilizado en la industria y de fácil adquisición a diferencia de otros tipos de diámetros pequeños como el 3/32”, cuya disponibilidad es más complicada. Para los pases de relleno y presentación, se utilizará el electrodo de 5/32”, ya que gracias a su dimensión proporciona un relleno más eficiente permitiendo avanzar más rápido en la soldadura.

Tabla 5

Dimensiones y amperajes recomendado E6010 ZIP 10T

DIMENSIÓN	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 350 mm (3/32”)	50 - 80 A
3.2 X 350 mm (1/8”)	70 - 120 A
4.0 X 350 mm (5/32”)	90 - 155 A
4.8 X 450 mm (3/16”)	120 - 180 A

Nota. Tomado de Guía de electrodos para soldar WEST ARCO, por West Arco, s.f., <https://www.westarco.com.co>

Tabla 6

Dimensiones y amperajes recomendado E7010-A1

DIMENSIÓN	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32”)	50 - 80 A
3.2 X 350 mm (1/8”)	90 - 120 A
4.0 X 350 mm (5/32”)	120 - 155 A
4.8 X 350 mm (3/16”)	150 - 180 A

Nota. Tomado de Hoja técnica del electrodo E7010-A1, por Electroodos INFRA, s.f., <https://www.infra.com.mx>

Para las características eléctricas del equipo de soldadura es importante trabajar con un voltaje que permita mantener un arco estable, ya que de eso depende que el electrodo se funda correctamente con el metal base. En equipos que funcionan con corriente constante como es un equipo de soldadura, el voltaje puede oscilar entre 22 a 33 V, esto dependiendo en los tipos de arco que se genere, ya sea corto, normal o largo. Es necesario explicar que este valor no es fijo, es

ajustado por el soldador de manera práctica durante la ejecución, regulando la distancia entre el electrodo y la pieza a soldar, lo cual aumenta o disminuye el arco y, por tanto, el voltaje que se genera.

Respecto a la corriente se usará corriente continua con polaridad directa (electrodo en negativo) para el primer pase, es decir, el pase de raíz, ya que con esta polaridad se concentra mayor calor en la pieza lo que favorece la penetración del electrodo. Para los pases caliente, de relleno y presentación se utilizará corriente continua con polaridad inversa (electrodo en positivo), permitiendo que el calor se concentre en el electrodo consumiéndolo más rápido teniendo un avance más eficiente y constante. El uso de corriente alterna no se contempla debido a la inestabilidad del arco y la variación de la polaridad puesto que no garantiza una unión uniforme.

Con estas condiciones se establecen los parámetros que deberá cumplir el equipo de soldadura para asegurar la correcta ejecución del procedimiento. A continuación, se presenta una tabla con las especificaciones para cada pase con su tipo de electrodo, incluyendo su diámetro, tipo de corriente, polaridad y rangos de amperaje recomendado para cada proceso.

Tabla 7

Características eléctricas equipos de soldadura

Características eléctricas					
Pase	Tipo comercial	Electrodo	Amperaje	Voltaje	Corriente
Raíz	E6010 ZIP 10T	1/8"	70-120 A	22-33 V	DC-
Caliente	E7010-A1	1/8"	90-155 A	22-33 V	DC+
Relleno	E7010-A1	5/32"	90-155 A	22-33 V	DC+
Presentación	E7010-A1	5/32"	90-155 A	22-33 V	DC+

7.3 Desarrollo objetivo 3

Para elaborar el documento WPS, es crucial determinar los parámetros que deben incluirse en el formato, con la finalidad de que el soldador satisfaga completamente los requisitos estipulados por la norma. Esto conlleva a revisar los requisitos técnicos para determinar qué parámetros necesitan integrarse y cuáles pueden omitirse, dependiendo del procedimiento de soldadura que se implementará en la empresa.

Para este fin, se creó una tabla con todas las variables definidas por la norma y se eligieron las variables marcadas con una X, las cuales serán incluidas en el documento WPS.

Tabla 8

Variables del documento WPS

Numeral API	Parámetros a incluir en el WPS	SI	NO
5.3.2.1	Proceso	X	
5.3.2.2	Materiales del tubo y de los accesorios	X	
5.3.2.3	Diámetros y espesores de pared	X	
5.3.2.4	Diseño de la junta	X	
5.3.2.5	Metal de aporte y número de cordones	X	
5.3.2.6	Características eléctricas	X	
5.3.2.7	Características de la llama		X
5.3.2.8	Posición	X	
5.3.2.9	Dirección de la soldadura (Orientación)	X	
5.3.2.10	Intervalo entre pases	X	
5.3.2.11	Tipo y remoción de la grapa de alineamiento	X	
5.3.2.12	Limpieza y/o esmerilado	X	
5.3.2.13	Pre y Post-Tratamiento térmico	X	
5.3.2.14	Gas protector y velocidad de flujo		X
5.3.2.15	Flux protector		X
5.3.2.16	Velocidad de avance	X	

Cabe resaltar que algunos de estos parámetros no fueron seleccionados, sino requeridos por la norma, y los clasifica como variables esenciales, esto ocurre porque si el procedimiento de soldadura no cumple con los criterios de aceptación durante su calificación, estas variables deben modificarse y reevaluarse hasta lograr que el procedimiento de soldadura sea válido y aplicable para trabajos reales. Dentro de las variables esenciales exigidas por la norma se encuentran:

- Proceso de soldadura
- Material del tubo y accesorios
- Diámetros y espesores de pared
- Diseño de la junta
- Tipo de metal de aporte y numero de cordones
- Parámetros eléctricos
- Posición de soldadura
- Progresión de soldeo
- Tiempo entre pases
- Precalentamiento

- Gas de protección
- Fundente
- Velocidad de avance

Además de estas variables esenciales, en el WPS se incluyeron algunos parámetros que no están exigidos por la norma, debido a que brindan mayor claridad al soldador durante la ejecución del procedimiento. Por tal motivo, se especifican y detallan las variables no mencionadas previamente para el procedimiento de soldadura establecidas en la norma API 1104 (American Petroleum Institute (API), 2021), citando su respectivo numeral.

7.3.1 Proceso API 1104 (API numeral 5.3.2.1.)

Se debe especificar el proceso de soldadura que llevara a cabo el procedimiento a realizar, esto depende del requerimiento y disponibilidad de la empresa. Para este procedimiento se selecciona el proceso de soldadura SMAW ya que la empresa cuenta con dicho equipo en funcionamiento y es el proceso más utilizado por los soldadores y el más común en el sector de hidrocarburos.

7.3.2 Materiales del tubo y de los accesorios (API numeral 5.3.2.2.)

En este proyecto se utiliza tubo de acero sin costura ASTM A106 grado B de acuerdo con el trabajo habitual de la empresa GR Ingeobras S.A.S. Este material pertenece al numeral 5.4.2.2 en el grupo a) Mínima resistencia a la fluencia especificada menor o igual a 42.000 libras por pulgada cuadrada (289.58 MPa).

Tabla 9

Propiedades de la tubería

Composición química										
Grado del acero	C Max	Mn Max	P Max	S Max	Si Max	Cr Max	Cu Max	Mo Max	Ni Max	V Max
106 Grado B	0,25	0,27-0,93	0,035	0,035	0,1	0,4	0,4	0,15	0,4	0,08

Ensayos mecánicos			
Grado de la tubería	Mínimo esfuerzo de fluencia Mpa (PSI)	Mínimo esfuerzo de tracción Mpa (PSI)	Elongación % en 2"
A-106 Grado B	240 (35000)	415 (60000)	30

Nota. Tomado de “ (Fiorella Representaciones S.A.C., s.f)”.

7.3.3 Diámetros y espesores de pared (API numeral 5.3.2.3.)

Se utiliza una tubería de diámetro exterior 6" y espesor de pared SCH40 (7.11 mm). Para estos diámetros y espesor se aplica el numeral 6.2.2 sección d) grupo 2 para el diámetro y para espesor de pared en la sección e) grupo 2.

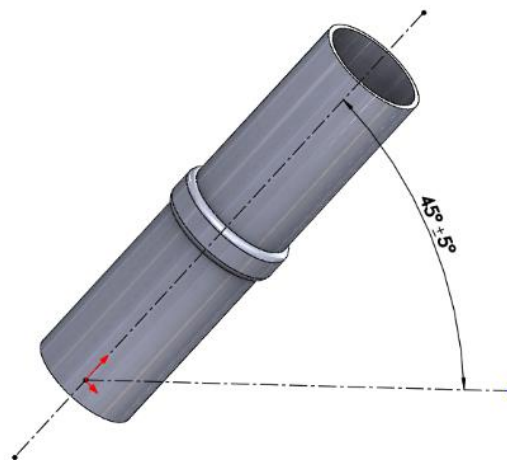
- (d) grupo 2: Diámetros exteriores desde 2"-3/8" (60.3 mm) hasta 12"-3/4" (323.8 mm).
- (e) grupo 2: Espesores nominales de pared de tubo desde 3/16" (4.78mm) hasta 3/4" (19.05mm).

7.3.4 Posición numeral (API 5.3.2.8.)

Para realizar la soldadura se optará por una posición 6G inclinando la tubería en un ángulo de $45^\circ \pm 5^\circ$ con respecto al plano horizontal, debido a que de esta manera el soldador deberá soldar en todas las posiciones planteadas en la norma.

Figura 8

Posición de la tubería



7.3.5 Dirección (Orientación) de la soldadura (API numeral 5.3.2.9.)

Esta variable define la progresión que se deberá usar para el procedimiento de soldadura, es decir, el sitio que va a iniciar la junta el soldador y si será ascendente o descendente. Para este

procedimiento de soldadura se selecciona una progresión descendente, esta elección se basa en el requerimiento de la empresa al tener experiencia con esta dirección de soldadura. La progresión descendente tiene mayor penetración en la pieza y un menor riesgo a que la soldadura presente socavados, por esto el soldador debe tener una gran experiencia soldando oleoductos o tuberías a presión porque al ser una progresión descendente no tiene un control visual claro y la junta podría tener escoria atrapada en el.

7.3.6 Tipo de alineadores (API numeral 5.3.2.11.)

En el procedimiento de soldadura se usará alineadores externos para realizar la unión de la tubería hasta que se complete el 50% del pase de raíz.

Figura 9

Alineadores externos para tubería



Nota. Tomado de Catálogo de productos PIPE TOOLS, por PIPE TOOLS, 2025, <https://pipetools.com>

7.3.7 Limpieza (API numeral 5.3.2.12.)

La limpieza se realizará con grata cónica y disco flap para remover la escoria de cada pase ya que el electrodo E6010 produce gran cantidad de escoria de difícil remoción.

7.3.8 *Pre calentamiento (API numeral 5.3.2.13.)*

Para determinar si el procedimiento necesita un pre-calentamiento es necesario analizar el espesor de la tubería y el porcentaje de carbono equivalente, se debe determinar el carbono equivalente cuando el porcentaje de carbono mayor sea de 0.12% o mas alto (Cevallos Guerrero & Cisneros Martínez, 2013). La ecuación 1 muestra el modelo propuesto por el Instituto Internacional de Soldadura.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad (1)$$

Para determinar el precalentamiento se utiliza la norma ASME BPVC sección VIII con un contenido de carbono menor o igual a 0.30% y un espesor menor de 1” se debe utilizar un precalentamiento minimo de 10°C para el material ASTM A 106 grado B obteniendo un carbono equivalente de 0.35%. Por esto en el procedimiento de soldadura se utilizara una temperatura minima de 10° (50°F) ya que el carbono equivalente del material no es tan distante del requerimiento de la norma.

7.3.9 *Diseño del WPS*

A continuación, se muestra el documento WPS construido y aprobado por la empresa en el que se integran los parámetros esenciales para la ejecución de la soldadura, buscando que mediante esta documentación se asegure la calidad de la soldadura de la empresa.

Figura 10
 Formato del WPS diseñado – Hoja 1


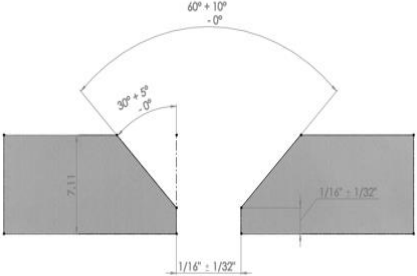
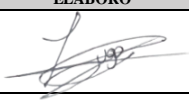
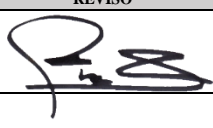

 INGENIERIA DE OBRAS CIVILES Y AFINES				
REGISTRO CALIFICACIÓN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS				
WPS No: GR-ING-P1-002	FECHA: 03/11/2024	POR: H.C.R	PAG: 1 DE 3	
PQR No: GR-ING-P1-002R	FECHA: 03/11/2024	POR: H.C.R	REVISION: 0	
NORMA DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA: NORMA API 1104 ED. 2021				
PROCESO DE SOLDADURA:	SMAW	TIPO:	MANUAL: X	SEMI-AUTOMATICA:
JUNTA				
DISEÑO DE LA JUNTA:	A TOPE			
TIPO DE BISEL:	V			
ANGULO DE RANURA:	60° + 10° - 0°			
CARA DE RAIZ:	3/32" +/- 1/32"			
APERTURA DE RAIZ:	1/8" +/- 1/32"			
RESPALDO:	SI NO: X			
MATERIAL DE RESPALDO:	N/A			
METAL BASE				
ESPECIFICACION, TIPO Y GRADO:	ASTM A 106 GRADO B			
COMPOSICION QUIMICA:	0,25% 0,27% Mn 0,035% P 0,035% S, 0,1% Si, 0,4% Cr, 0,4% Cu, 0,15% Mo, 0,4% Ni, 0,08% V.			
RESISTENCIA A LA TENSION:	415 MPa			
RANGO DE ESPESORES:	ESPESOR (t): 7,11 mm (0,281) in			
METAL BASE: (MIN/MAX) A TOPE:	DESDE 2,375"	HASTA 12,75"	FILETE: TODOS	
DIÁMETROS: 6"SHC40	A TOPE: 6" Y MAYORES		FILETE: TODOS	
PASES MAYORES A 1/2" NO ESTÁN PERMITIDOS				
METAL DE APORTE				
NÚMERO DEL PASE	1	2	3	4
ESPECIFICACIÓN AWS No	5.1	5.1	5.1	5.1
CLASIFICACIÓN AWS No	E6010	E7010	E7010	E7010
Ø METAL DE APORTE	1/8" +/- 1/32"	1/8" +/- 1/32"	5/32" +/- 1/32"	5/32" +/- 1/32"
FUNDENTE (CLASE AWS)	N/A	N/A	N/A	N/A
NOMBRE COMERCIAL FUNDENTE	N/A	N/A	N/A	N/A
FABRICANTE METAL DE APORTE	WEST ARCO	WEST ARCO	WEST ARCO	WEST ARCO
NOMBRE COMERCIAL APORTE	ZIP 10T	ZIP 10T	ZIP 10T	ZIP 10T

Figura 12.
Formato del WPS diseñado – Hoja 3

INGEOBRAS S.A.S			
INGENIERIA DE OBRAS CIVILES Y AFINES			
REGISTRO CALIFICACIÓN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS			
WPS No: GR-ING-P1-002	FECHA: 03/11/2024	POR: H.C.R	
PQR No: GR-ING-P1-002R	FECHA: 03/11/2024	POR: H.C.R	
<p>PAG: 3 DE 3</p> <p>REVISION: 0</p>			
<p>TECNICA</p> <p>PASE RECTO U OSCILADO: AMBOS</p> <p>ELECTRODO SIMPLE O MULTIPLE: SIMPLE</p> <p>TANAÑO DE LA BOQUILLA: N/A</p> <p>METODO DE LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASES: Con disco abrasivo para el pase de raiz y grata circular para los demas pases</p> <p>OSCILACION MAXIMA: Maximo 2,5 veces el diametro del electrodo</p>			
<p>NOTAS:</p> <p>LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASES: LA SUPERFICIE A SOLDAR Y DE LA SOLDADURA DEBE ESTAR LIBRE DE INCRUSTACIONES, ÓXIDOS, HUMEDAD, GRASA, ETC.</p> <p>SI EL MATERIAL BASE SE ENCUENTRA POR DEBAJO DE 10 °C NO SE PODRÁ SOLDAR.</p> <p>LA SOLDADURA DE BAJO HIGROGENO DEBE SER MANTENIDA EN HORNO PORT ATIL PARA SU APLICACIÓN A UNA TEMPERATURA NO MENOR DE 221 °F</p> <p>N/A NO APLICA</p>			
	ELABORO	REVISO	APROBO
FIRMA			
NOMBRE	HUGO CAMILO RUIZ CHACON	GIOVANNI RUIZ	NICOLAS SANCHEZ

7.4 Desarrollo objetivo 4

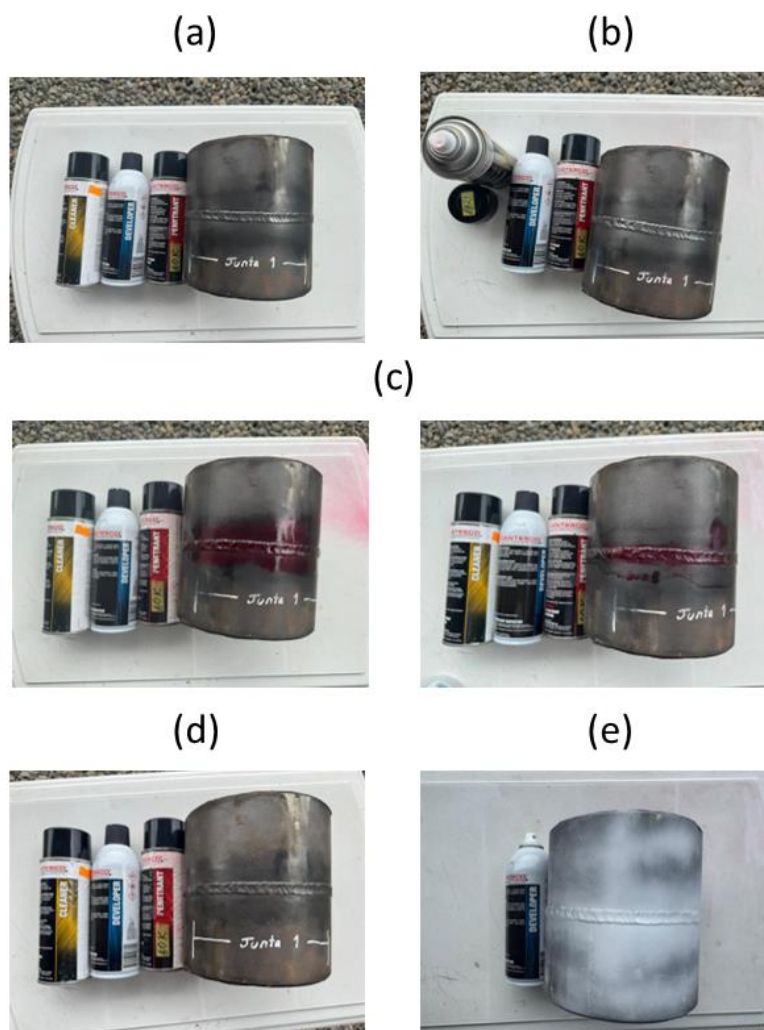
En esta última etapa se comprueba el procedimiento de soldadura diseñado (WPS) para esto se realizan ensayos no destructivos y destructivos, sobre dos piezas soldadas, ambas se construyeron uniendo dos tuberías (carretos), uno de ellos para ejecutar pruebas no destructivas

(con tintas penetrantes, inspección visual y radiografía del tubo), y el otro para someterlo a ensayos mecánicos (tracción, dobléz y rotura *nick*).

7.4.1 Ensayos no destructivos

7.4.1.1. Tintas Penetrantes. Con el fin de llevar a cabo ensayos no destructivos por medio de inspección visual usando tintas penetrantes Tipo II Método C, se empleó el carrito construido para tal fin (tubería soldada) y se aplicó el método de limpieza con grata conforme a la norma SSPC SP-3 (cita). El método de tintas consiste en tres componentes limpiador (*cleaner*), penetrante (*penetrant*) y revelador (*developer*).

- a) El procedimiento da inicio con la limpieza de la superficie empleando una grata para remover cualquier residuo y asegurar que la junta esté libre del óxido que pudiera haberse acumulado.
- b) Luego se limpia con el *cleaner* para remover la grasa, aceite, polvo o impurezas de la superficie
- c) Después, se aplica el penetrante, que es un líquido rojo que se infiltra en las imperfecciones (grietas o poros) por acción de capilaridad, siempre que estas estén abiertas a la, y debe dejarse actuar por un período de 20 minutos
- d) Posteriormente, se elimina el exceso de penetrante con el *cleaner* en una sola dirección hasta que esté completamente seco
- e) Finalmente, se emplea el revelador, un líquido blanco que al aplicarse uniformemente sobre la superficie forma una capa, que sirve para extraer el penetrante ubicado dentro de las grietas o poros, haciéndolo visible sobre la superficie blanca, si no se observan indicaciones (marcas rojas), significa que la soldadura inspeccionada no presenta defectos con conexión a la superficie. Pero se requieren realizar pruebas que verifiquen el interior de la soldadura como radiografía, gammagrafía o ultrasonido, en la probeta se realizó radiografía y en el siguiente apartado se detalla del procedimiento.

Figura 13*Proceso de tintas penetrantes*

7.4.1.2. Prueba de Radiografía. La radiografía como método de ensayo no destructivo se emplea para verificar la calidad interna de una soldadura sin dañarla. Funciona mediante el empleo de rayos X o gamma que penetran el material soldado; la cantidad de radiación que lo atraviesa depende de la densidad y el espesor del metal. Cuando existen defectos internos, como poros, grietas, inclusiones de escoria o falta de fusión, estos alteran la absorción de radiación y se evidencian como zonas más claras u oscuras en la película o imagen digital obtenida. En el procedimiento, se pone una fuente de radiación de un lado de la soldadura y, al lado opuesto, una película radiográfica o detector digital que captura la exposición. Posteriormente, la imagen es interpretada por un inspector calificado, quien determina si la soldadura cumple con los criterios de aceptación establecidos en la norma de soldadura utilizada. (Lincoln Electric, 2017)

7.4.2 Ensayos destructivos

La norma API 1104 requiere la realización de estos ensayos para garantizar una correcta ejecución del procedimiento de soldadura, por lo tanto, el soldador llevó a cabo el proceso en una tubería de 6" SCH 40 siguiendo el WPS establecido.

- (a) Primero se preparó el bisel de la tubería, conforme al diseño previamente realizado.
- (b) Una vez realizado el bisel, se colocan los dos segmentos de tuberías en un ángulo de 45° para comenzar a soldar.
- (c) Una vez que la tubería esté correctamente colocada, comienza el proceso de soldadura. En este paso, el soldador deberá ejecutar soldaduras en todas las posiciones debido a que la tubería fue situada en la posición 6G indicada en el apartado *Posición numeral (API 5.3.2.8.)*, lo que obliga al soldador a desplazarse alrededor de la tubería soldando desde todas las direcciones.

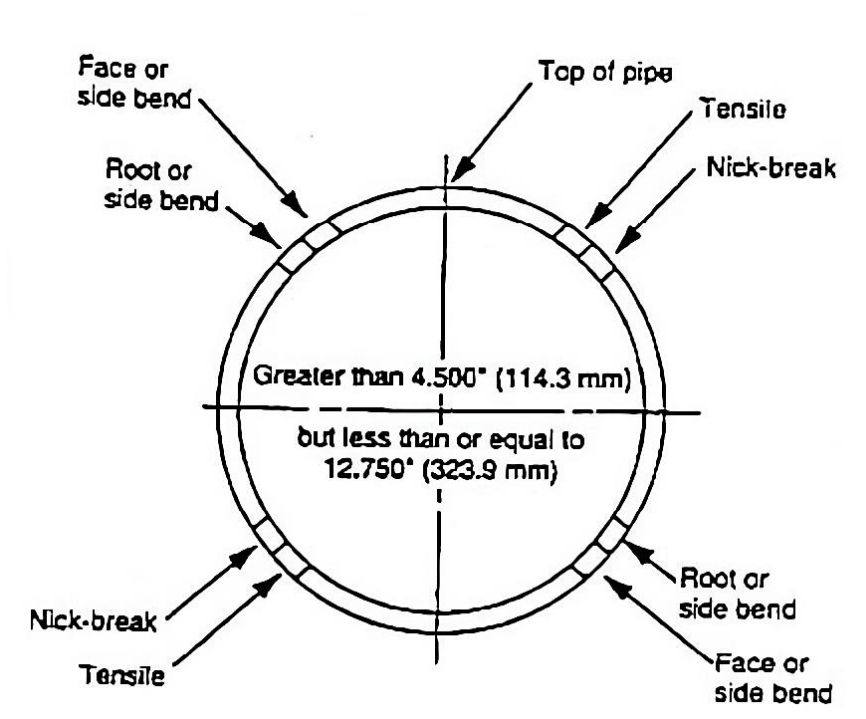
Figura 15
Proceso de soldadura



Con la soldadura terminada (Figura 15), se procede a realizar los ensayos correspondientes. Para ello, se utilizan 8 probetas, las cuales se extraen de la zona de soldadura siguiendo estas posiciones.

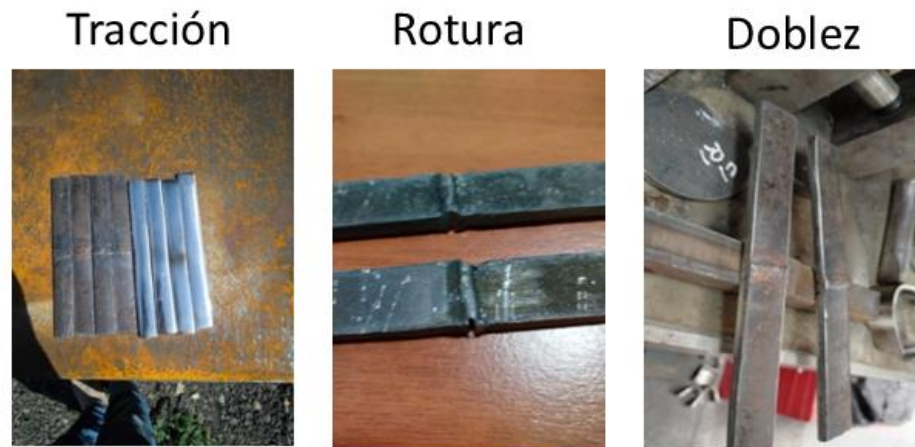
Figura 16

Posiciones de extracción de las probetas desde la soldadura



Nota: Tomado de (American Petroleum Institute (API), 2021).

La norma selecciona estas posiciones porque representan las áreas más críticas del cordón de soldadura en una tubería, lo cual es resultado de la variación en la posición de la soldadura (Plana, vertical, sobre cabeza); así, son puntos en los que se combinan cambios de posición y técnica, permitiendo así una evaluación certera de la destreza del soldador y la calidad del procedimiento.

Figura 17*Extracción de probetas*

Cuando las probetas están listas, se remiten al laboratorio certificado para que se realicen los ensayos mecánicos pertinentes; de este modo se dará el visto bueno al procedimiento de soldadura. Si alguna probeta presenta un resultado inesperado, como una discontinuidad, habrá que verificar si cumple con los criterios mínimos de aceptación y decidir si es aceptable, de lo contrario, se deberá revisar el WPS y efectuar los cambios necesarios para repetir los ensayos.

8 Resultados

En el ensayo de tintas penetrantes no se evidencio ninguna indicación de acuerdo con la norma ASME BPVC Sección V, Artículo 6 como poro, socavado ni grieta (American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2023b).

Figura 18

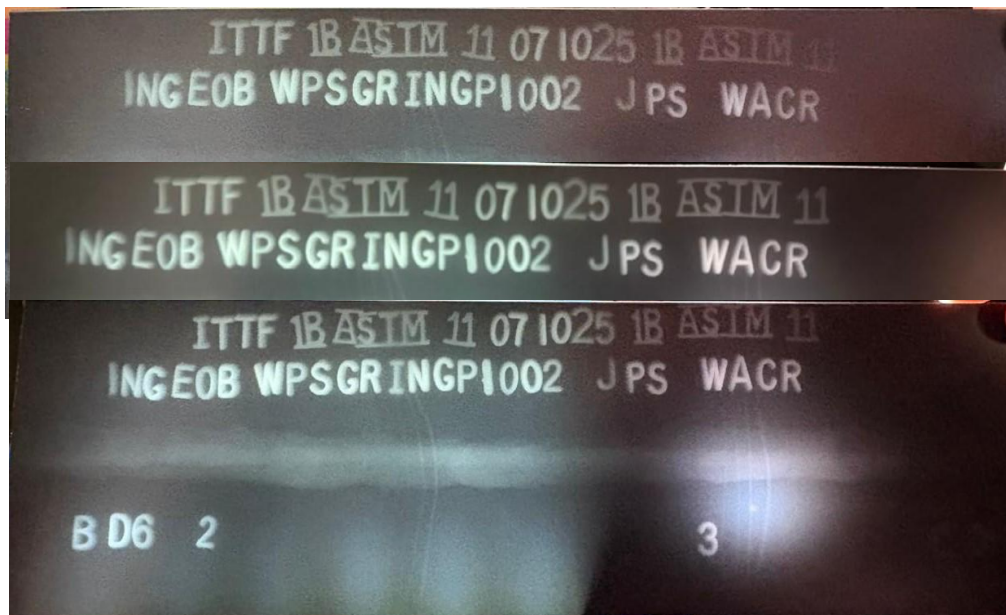
Resultado del ensayo de tintas penetrantes



La radiografía practicada a la soldadura no mostró señales de discontinuidades internas, porosidades ni defectos significativos. Los resultados señalan que la unión posee una calidad interna adecuada.

Figura 19

Resultado del ensayo de radiografía



A continuación, se presentan los resultados de propiedades mecánicas realizados a la soldadura del carrito.

En el primer ensayo de tensión se emplearon dos probetas y se obtuvo una resistencia última de 473 MPa y 488 MPa, superando el esfuerzo mínimo de tracción del material. De acuerdo con lo establecido por la norma API 1104 numeral 5.6.2.3 las probetas cumplen con la norma, ya que ambas están por encima del esfuerzo mínimo de tracción del material utilizado.

Figura 20

Probetas obtenidas antes del ensayo de tensión



Figura 21

Probetas obtenidas después del ensayo de tensión



El ensayo de doblez guiado se realizó con cuatro probetas: dos para doblez de cara y dos para doblez de raíz; ninguna mostró discontinuidades, cumpliendo con el numeral 5.6.4.3 de la norma API 1104.

Figura 22

Probetas obtenidas antes del ensayo de tensión

**Figura 23**

Probetas obtenidas después del ensayo de tensión



El ensayo final de sanidad (Rotura Nick) se efectuó en dos probetas y ninguna presentó discontinuidades, cumpliendo así con los requisitos del numeral 5.6.3.3 de la norma API 1104.

Figura 24

Probetas obtenidas antes del ensayo de sanidad (Rotura Nick)



Figura 25


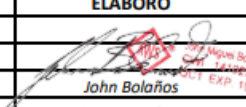
Probetas obtenidas después del ensayo de sanidad (Rotura Nick)



El laboratorio WELDING PRO-INC SAS, a través de su informe, validó el procedimiento de soldadura bajo la norma API 1104 diseñado por el pasante, realizando inspecciones visuales durante el proceso de construcción de los carretos Mencionados anteriormente, consolidados en el PQR generado por el laboratorio que se encuentra en anexos.

Figura 26

Reporte de resultado de ensayos mecánicos

 <p>INGEOBRAS S.A.S INGENIERIA OBRAS CIVILES Y AFINES</p>	<p>REPORTE DE PRUEBA DE CUPON API 1104 VIGÉSIMA SEGUNDA EDICION JULIO DE 2021</p>				
EMPRESA: <u>GR INGEOBRAS S.A.S.</u> CODIGO: <u>API 1104</u> VERSION: <u>2021</u> WPS No. <u>GR-ING-P1-002</u> HOJA: <u>1/1</u> WP-T-078-25 / WP-D-079-25 / WP-					
FECHA: <u>22 de Septiembre de 2025</u> PRUEBA No. <u>N-080-25 (adjuntos)</u> SOLDADOR: <u>SERGIO ALEJANDRO CORNEJO REYES</u> ESTAMP. <u>ACR</u> CEDULA: <u>1,120,502,966</u> POSIC: <u>45°</u> VOLTAJE: <u>22-30</u> AMPER: <u>120-150</u> METAL DE APORT: <u>E-6010/E-7010A1</u> TAM. DEL REFUE: <u>1 mm</u> TIPO Y GRAD. DE LA TUBER.: <u>SA-106 Gr B</u> ESPES. DE PARED: <u>7,2mm</u> DIAM: <u>6" (NOMINAL)</u>					
PRUEBA DE TENSION					
Identificación	Ancho mm	Espes. Mm.	Area mm	Resist. Max. A la Tens.	Observaciones
T1-GR-ING-P1-002	24.35	7.07	172	68602.83 psi	RFS
T2-GR-ING-P1-002	19.04	8.80	168	70778.40 psi	RFS
PRUEBA DE SANIDAD					
Identificacion	Resultado				
N1-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
N2-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO					
Identificacion	Resultado				
C1-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
C2-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
R1-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
R2-GR-ING-P1-002	Sin Discontinuidades				
Ensayo Realizado por: <u>WELDING PRO INC. S.A.S.</u> Fecha: <u>22 de Septiembre de 2025</u>					
	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ		
FIRMA:					
NOMBRE:	<u>John Bolaños</u>				
CARGO:	<u>Inspector CWI</u>				
FECHA:	<u>22/09/2025</u>				

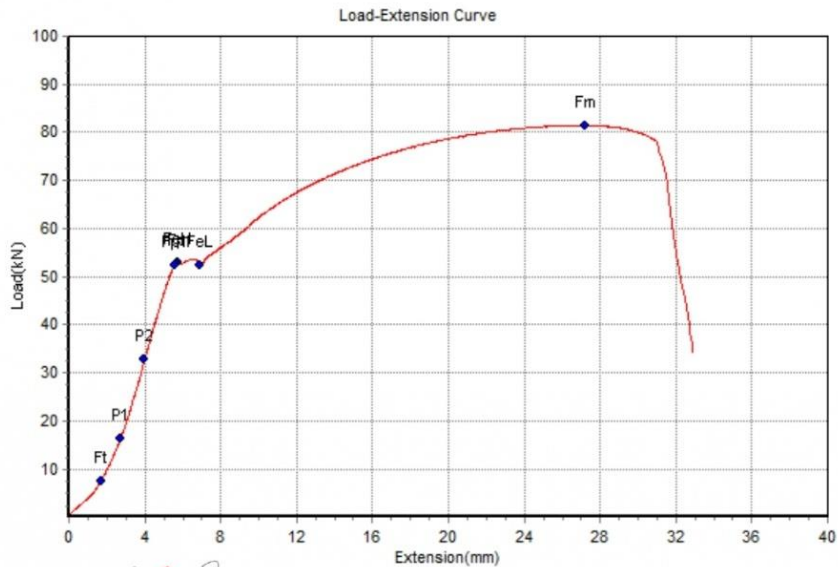
Nota. Tomado de la documentación de la empresa

Figura 27

Reporte de resultados del ensayo de tracción del material T1-API

Test Report

SampleNo	T1-API	SerialNo	01
BatchNo	T1	TestDate	22-09-25
Shape	Sheet (width *	Size(mm)	24.35*7.07
Area(mm^2)	172.2	Lo(mm)	253
Lu(mm)		A(%)	-100.0
Final size(mm)		Z(%)	100
Fm(kN)	81.49	Rm(Mpa)	473
FeH(kN)	52.89	ReH(Mpa)	307
FeL(kN)	52.30	ReL(Mpa)	304
Fp(kN)	52.82	Rp(Mpa)	307
Ft(kN)	7.59	Rt(Mpa)	44
E(Gpa)			



Tester:  Auditor: _____ Reviewer: _____

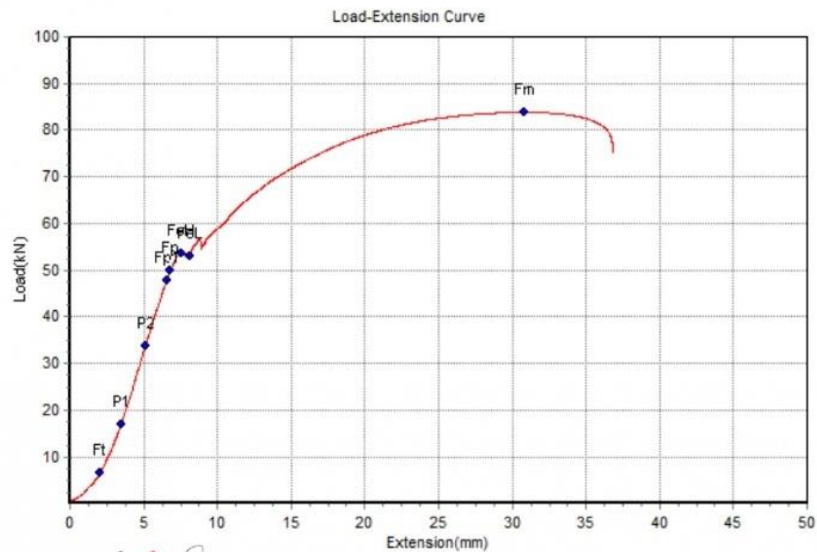
Nota. Curva y resultados del ensayo de tracción realizados a la muestra T1-API.


Figura 28

Reporte de resultados del ensayo de tracción del material T2-API

Test Report

SampleNo	T2-API	SerialNo	01
BatchNo	T2	TestDate	22-09-25
Shape	Sheet (width *	Size(mm)	25.55*6.72
Area(mm^2)	171.7	Lo(mm)	253
Lu(mm)		A(%)	-100.0
Final size(mm)		Z(%)	100
Fm(kN)	83.82	Rm(Mpa)	488
FeH(kN)	53.53	ReH(Mpa)	312
FeL(kN)	52.93	ReL(Mpa)	308
Fp(kN)	50.02	Rp(Mpa)	291
Ft(kN)	6.63	Rt(Mpa)	39
E(Gpa)			



Tester:  Auditor: _____ Reviewer: _____

Nota. Curva y resultados del ensayo de tracción realizados a la muestra T2-API.

9 Conclusiones Norma API 1104

La comparación de la norma API 1104 con estándares internacionales facilitó la identificación de criterios de inspección comunes y la elección del método de tintas penetrantes de acuerdo con la ASME Sección V, Artículo 6, fortaleciendo de este modo el procedimiento de soldadura.

Se especificaron las características eléctricas del equipo de soldadura en función de los electrodos elegidos, fijando los rangos de corriente y polaridad apropiados para asegurar un funcionamiento estable y acorde con los requerimientos de la norma.

Se elaboró el procedimiento WPS de acuerdo con la norma API 1104, incorporando tanto las variables esenciales como las no esenciales, lo que facilitó la elaboración de un documento más claro, completo y alineado con los requisitos del proceso de soldadura.

Se llevó a cabo una evaluación de la calidad de las soldaduras mediante pruebas mecánicas e inspecciones no destructivas, comprobando el cumplimiento de los estándares establecidos por API 1104.

El procedimiento de soldadura aprobado se puede utilizar en tuberías con diámetros exteriores que oscilan entre 2.375” y 12.75”, y con espesores de pared que van de 0.1875” a 0.75”, ya que la tubería empleada para la calificación fue de 6” SCH 40, la cual establece el rango calificado conforme a los criterios de la norma. De igual manera, el procedimiento se puede aplicar a materiales cuya resistencia a la fluencia sea menor o igual a 42 000 psi, tal como lo indica el numeral 5.3.2.2, puesto que la calificación se llevó a cabo con material A-106 Gr B, que tiene un límite de fluencia que incluye ese valor de esfuerzo.

10 Desarrollo de proyecto aplicado en plataforma de operación

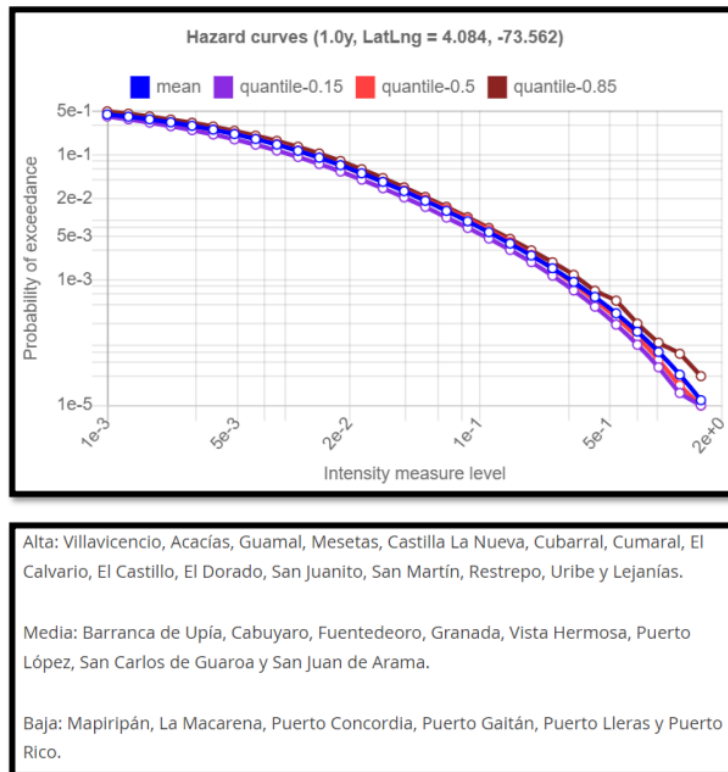
10.1 Ensayo de Esfuerzos Plataformas de Operación

Además de llevar a cabo el procedimiento de soldadura, se desarrollaron otros proyectos. En este caso se pondrá énfasis en el proyecto cuyo objetivo era comprobar la resistencia al esfuerzo en la Estructura Metálica Pasarelas (Rejilla Tipo T); Base Apiay; utilizando el programa Solidworks; el cual realizará cálculos en las uniones, conexiones, soldaduras y juntas presentes en dicha estructura.

El análisis de los esfuerzos sobre las estructuras (PLATAFORMA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO) se efectuó con base en un estudio previo de la estructura ya construida y situada en la estación Ecopetrol – Apiay (Villavicencio), la cual, según los datos del servicio geológico colombiano, está en una zona de alta sismicidad.

Figura 29

Curvas de amenaza sísmica y clasificación del nivel de amenaza en el departamento del Meta



Nota. Global Earthquake Model (GEM), Hazard Curves Tool. Coordenadas: 4.084° N, -73.562° O. Disponible en <https://hazard.openquake.org>

Este trabajo nace de la necesidad de la empresa MR INGENIEROS SAS; quien requiere el cálculo de esfuerzo de la estructura metálica para salvaguardar las cargas vivas y cargas muertas en caso de mantenimientos preventivos y correctivos de las diferentes bombas de actividad industrial.

Para cumplimiento de este objetivo principal se han alcanzado los siguientes objetivos parciales:

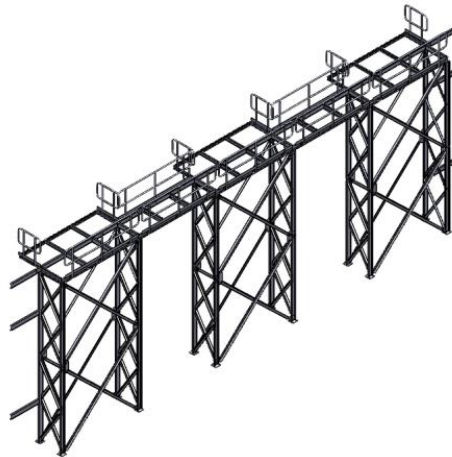
- Modelización y/o planos de la estructura.
- Realización de cálculo estructural mediante programa SolidWorks.
- Desarrollo de los documentos técnicos necesarios para la ejecución del proceso.

10.2 Modelado

Se realiza el modelado de toda la estructura en el software SolidWorks, mediante planos de ingeniería.

Figura 30

Modelado de la plataforma de operación



Nota. Elaborado con el software SolidWorks (2025), a partir de los planos de ingeniería suministrados por MR Ingenieros SAS.

10.3 Datos de entrada

Las entradas para la simulación del modelo (PLATAFORMA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO) se eligieron basándose en un peso de 80 kg por persona en la plataforma,

asegurando un aproximado máximo de 18 personas, por lo que se aplicó una carga axial de 1500 kgf a toda la superficie de las plataformas para realizar un análisis de esfuerzo unitario, usando la gravedad con un valor universal de 9.81 m/s^2 y expresando la fuerza en Newtons según la fórmula siguiente:

$$F = m * g$$

$$F = 1500 * 9.81 \quad (2)$$

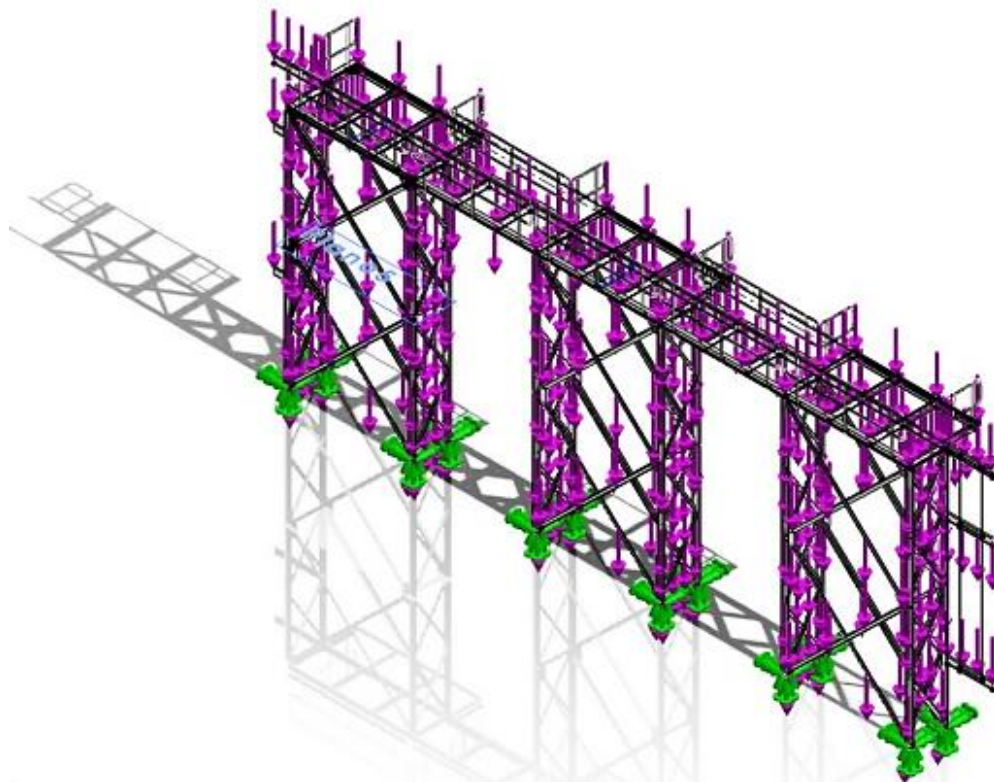
$$F = 14715 \text{ N}$$

10.4 Simulaciones

La estructura (PLATAFORMA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO) fue simulada y expuesta a una fuerza externa de 14715 Newtons, equivalente a (1500 kgf), resultando en una tensión axial uniforme de 1554 kgf/cm^2 que asegura el límite elástico de 2500 kgf.

Figura 31

Simulación estructura plataforma operación

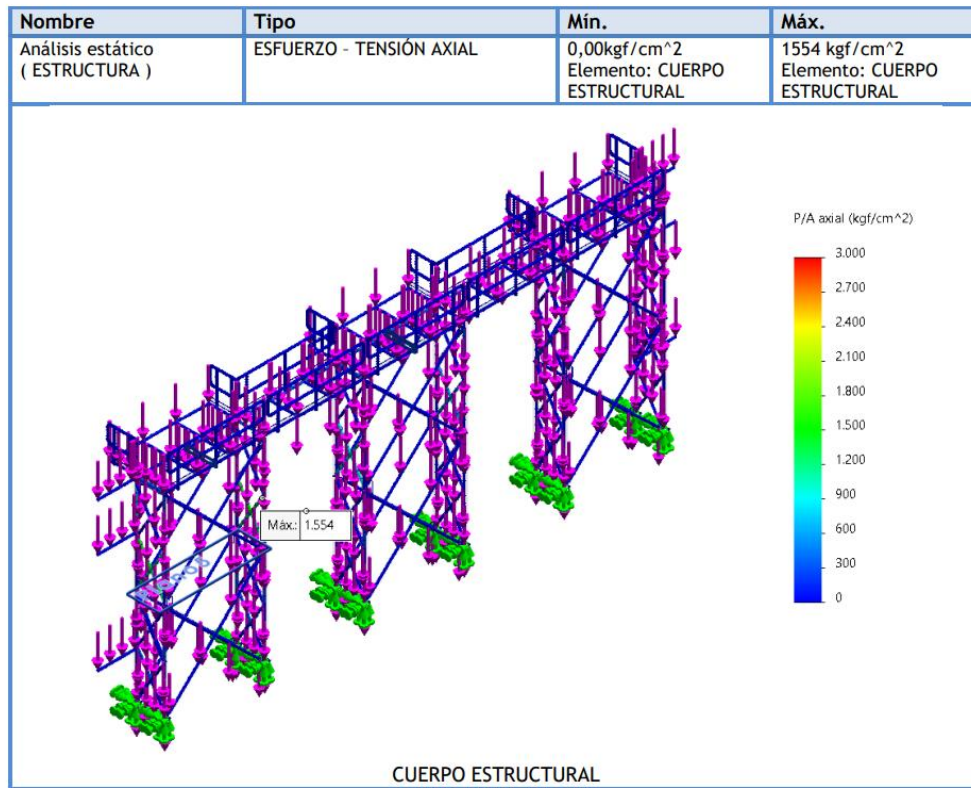


Nota. Elaborado con el software SolidWorks (2025), a partir de los planos de ingeniería suministrados por MR Ingenieros SAS.

10.5 Resultados

Se evidencia que la estructura soporta la carga sometida, teniendo una resistencia a la tensión de axial uniforme de 1554 kgf/cm².

Figura 32
Análisis estructural



Nota. Elaborado con el software SolidWorks (2025), a partir de los planos de ingeniería suministrados por MR Ingenieros SAS.

El factor de seguridad se determina con los valores en unidades de esfuerzos (kgf/cm²) determinados por el límite elástico del material usado y el resultado del análisis de cada estructura, tal como en la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 \text{FACTOR DE SEGURIDAD} &= \frac{\text{Estres máximo}}{\text{Estres de diseño}} \\
 N &= \frac{2460.14 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{1554 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \quad (3) \\
 N &= 1.58
 \end{aligned}$$

10.6 Conclusiones

La plataforma de operación y mantenimiento tiene límites de esfuerzo en tensión uniforme de 1554 kgf/cm² para sus materiales de diseño y construcción, de acuerdo con los valores asignados para el acero al carbono. La plataforma no excede el límite elástico, por lo tanto, no se deforma al aplicar una carga de 14715 Newtons (1500 kgf) sobre ella. Por esta razón, se sugiere que la estructura cumpla con los estándares mínimos de calidad, incluyendo ensayos no destructivos para los materiales y soldaduras, certificados de calidad, soldaduras conforme al código AWS D1.1 (estructuras), y que toda tuerca, tornillo, fijación o sujeción siga la especificación ASTM 194 para asegurar los ensayos.

Tras el análisis de los datos del ensayo anterior, se concluye que los materiales se pueden utilizar eficazmente siguiendo las recomendaciones del fabricante para el diseño de esfuerzo en este tipo de estructuras

11 Análisis DOFA

11.1 Análisis Empresa

A continuación, se expone el análisis DOFA, cuyo propósito de identificar los factores internos y externos que inciden en el posicionamiento y desempeño de la empresa GR INGEOBRAS SAS, con base en la experiencia adquirida durante el desarrollo de la pasantía empresarial.

Figura 33
Análisis DOFA Empresa



→ **Debilidades (D):**

Dependencia sectorial: Dentro de los factores que limitan el desarrollo de la empresa, se sitúa la alta dependencia del sector de hidrocarburos, lo cual la expone a situaciones externas adversas como las regulaciones que cambian constantemente, el mercado petrolero o contracción de la inversión.

Baja innovación: Otro aspecto a considerar es la desactualización tecnológica de procesos, pese a la inclusión de software como SolidWorks y/o AutoCAD, el no adaptarse a nuevas tecnologías emergentes podría reducir su competitividad en el entorno industrial.

Escasa diversificación: La limitada incursión de la empresa en nuevos sectores industriales le impide adaptarse a las constantes exigencias del mercado, es decir, esta poca diversificación representa una desventaja competitiva en comparación a instituciones que manejan portafolios de servicios versátiles y robustos, lo cual podría dificultar la atracción de nuevos clientes potenciales.

→ **Oportunidades (O):**

Demanda industrial: Una de las oportunidades más destacables de GR INGEOBRAS SAS es el aumento en la demanda de servicios industriales, específicamente en zonas de desarrollo. Estas nuevas expansiones representan una ventaja estratégica debido a la trayectoria de la empresa, ya que le permite posicionarse como una alternativa confiable, logrando así mayor consolidación territorial y presencia en el sector.

Alianzas estratégicas: Establecer alianzas empresariales podría reestructurar la oferta de servicios, comprendiendo que estas colaboraciones ya sean temporales o permanentes permiten la participación de proyectos de mayor robustez y de esa manera, facilitaría el acceso a nuevos mercados con competencias multidisciplinarias exigentes.

Licitaciones públicas: La participación en licitaciones públicas dirigidas por el gobierno es una garante de acceder a contratos estables y ampliar su cartera de cliente. GR INGEOBRAS SAS posee certificaciones y experiencia comprobado, siendo estos requisitos fundamentales dentro del proceso de convocatoria y selección, por lo que le otorga mayor facilidad de acceso a este tipo de proyectos.

→ **Fortalezas (F):**

Experiencia comprobada: Con más de 13 años de trayectoria en proyectos de obras civiles y mecánicos, esta empresa ha consolidado una reputación sólida en el sector; respaldando la calidad de sus productos y demostrando su capacidad técnica, compromiso y cumplimiento de estándares.

Calidad estructural: Un distintivo de la empresa se alude a la excelencia de fabricación de estructuras, lo cual representa un vínculo de confianza con el cliente y un garante no solo de contratos recurrentes, sino también la llegada de nuevos clientes provenientes de recomendaciones.

El reflejo de producto terminado es un factor decisivo en un sector donde las fallas estructurales pueden ocasionar costos elevado técnicos y económicos.

Precios competitivos: La empresa cuenta con la capacidad de ofrecer precios competitivos en el mercado, lo cual permite captar mayor de clientela sin comprometer la calidad de servicio ni la satisfacción del cliente.

→ **Amenazas (A):**

Competencia creciente: El aumento constante de la competencia en el sector de obras civiles representa una de las amenazas más significativas debido a que muchas empresas ofrecen servicios similares tanto en precio como en calidad. Por ende, GR INGEOBRAS SAS debe mantener una evolución continuar para que su competitividad y permanencia en el mercado.

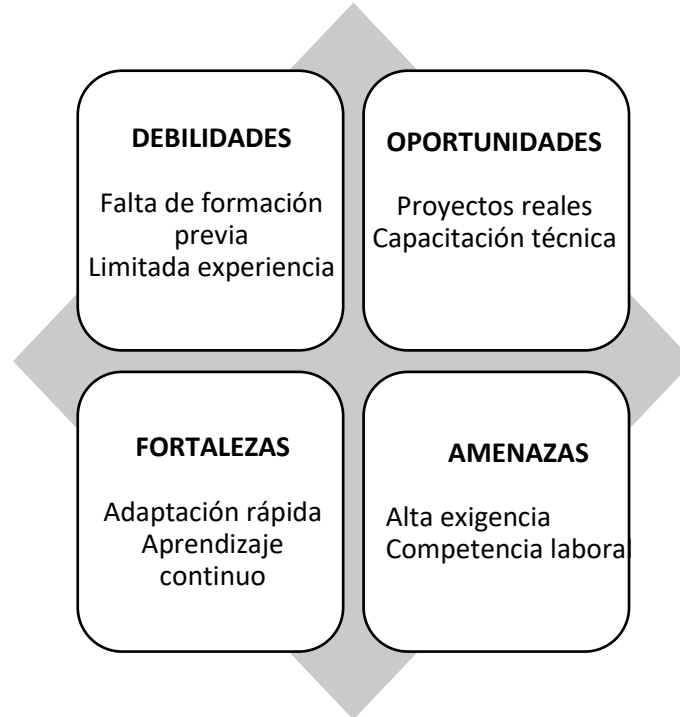
Crisis económica: Este factor se considera como amenaza debido a la intervención directa en la inversión pública y privada en infraestructura. En tiempos de recesión los presupuestos destinados a la ampliación, mantenimiento y construcción de instalaciones tienden a reducirse, lo cual perjudica la demanda de servicios que ofrece la empresa.

Regulación ambiental: Las entidades regulatorias establecen cada vez normativas ambientales más rigurosas, implicando mayores costos técnicos y operativos. Aunque estas regulaciones son necesarias, obligan a la empresa a invertir en documentación exhaustiva, tecnologías más eficientes y procesos más limpios; si no se realiza una gestión adecuada este indicador podría impactar de manera considerable la rentabilidad.

11.2 Análisis Personal

A continuación, se presenta el análisis DOFA personal realizado a partir de la experiencia adquirida en la trayectoria de la pasantía. Este estudio constituye una autoevaluación vinculada al desempeño como estudiante de ingeniería mecánica en un entorno laboral real, destacando el desarrollo profesional, aspectos por fortalecer y las oportunidades que impulsan mi proyección laboral.

Figura 34
Análisis DOFA Personal



→ **Debilidades (D)**

La falta de formación académica representó un desafío inicial, ya que muchos requerimientos técnico-prácticos no se abordan en la carrera. Asimismo, la limitada experiencia profesional fue un factor determinante debido a que se contaba únicamente con bases teóricas, mientras que la ejecución en campo requería de habilidades que solo se desarrollan y fortalecen mediante la práctica constante.

→ **Oportunidades (O)**

La participación en proyectos reales en el sector de hidrocarburos fue una oportunidad extraordinaria para comprender la aplicación de mis conocimientos de ingeniería a casos concretos, bajo el cumplimiento de normativas y exigencias de la industria. Además, la capacitación técnica en el manejo de herramientas, levantamiento en campo, control de calidad representa un valor agregado en mi desempeño profesional.

→ **Fortalezas (F)**

La adaptación rápida fue un aliado fundamental para acoplarme al entorno de trabajo, comprendiendo sus procesos internos y dinámicas de trabajo. De igual forma, el aprendizaje

continuo me mantuvo receptivo a nuevos conocimientos técnicos, experimentales y operativos, los cuales fortalecieron mi desempeño como pasante.

→ **Amenazas (A)**

Los tiempos de entrega y estándares de calidad del sector son altamente exigentes, lo cual fue un reto constante al requerir mejorar mi gestión del tiempo y precisión de mis tareas como pasante. Por otro lado, la competencia laboral con colegas de mayor trayectoria exige un aprendizaje continuo para adaptarme, actualizarme y evitar quedar en desventaja.

12 Aportes

Para describir mis aportes y recomendaciones, se ha elaborado un cuadro resumen que detalla aspectos como la descripción de cada uno y su impacto en la empresa, esto ha ayudado a mejorar la eficiencia y la producción, permitiendo un mayor control de procesos y aprendizaje mutuo.

Tabla 10
Aportes y recomendaciones

ASPECTO	SITUACIÓN INICIAL	LECCIÓN APRENDIDA	BENEFICIOS
Técnico	Anteriormente, la empresa no contaba con un sistema de seguimiento para los planos de taller, lo que provocaba pérdida de documentos, falta de control en la secuencia de planos y demoras en la respuesta cuando un cliente solicitaba uno.	Implementar un formato en Excel para llevar un registro secuencias de cada plano de taller elaborado.	Mayor control y eficiencia en la gestión de planos.
Técnico	No se disponía de un formato estandarizado para planos.	Incorporar una marca de agua propia y definir las dimensiones del formato en el software SolidWorks.	Mejor en la calidad y presentación de los planos, fortaleciendo la imagen de la empresa.
Ingeniería	Se presentaban pérdidas de elementos en bodega.	Crear un código en Excel para gestionar un inventario completo de consumibles, herramientas y equipos menores almacenados en bodega.	Mejor control de herramientas y consumibles, facilitando el conteo y la planificación de compras.
Técnico	No se coordinan los tiempos de entrega de las estructuras.	Implementar planes de trabajo individualizados para cada trabajador, a fin de evitar pérdidas de tiempo y reducir costos operativos.	Mayor eficiencia en la empresa y menor pérdida de dinero.
Ingeniería	La empresa no contaba con formatos específicos para los mapas de soldadura.	Elaborar un formato estandarizado para la realización de mapas de soldadura, con el fin de documentarlos adecuadamente en el libro tubo.	Mayor calidad en la entrega de dossiers.
Ingeniería	No existían pasos ni lineamientos definidos para el diseño o elaboración de planos de taller.	Parametrizar las estructuras más utilizadas en la industria de hidrocarburos dentro del área de metalmecánica. Por ejemplo, para el diseño de escaleras se debe definir el ángulo de inclinación y establecer medidas estándar para huella y contrahuella.	Mayor agilidad y precisión en la elaboración de estructuras.

ASPECTO	SITUACIÓN INICIAL	LECCIÓN APRENDIDA	BENEFICIOS
Administrativo	No se contaba con un formato para realizar cotizaciones ni actas parciales o totales de los proyectos.	Crear un formato para actas parciales que indique el valor del contrato y el porcentaje de avance del proyecto.	Mejor organización en la gestión administrativa de la empresa.
Ingeniería	Solo se contaba con un software, lo que limitaba las herramientas disponibles para el desarrollo de proyectos específicos.	Implementar Autodesk en la empresa, ya que incluye diversos programas que pueden interactuar entre sí y cubrir distintas necesidades del proceso de diseño e ingeniería.	Mayor capacidad para desarrollar proyectos específicos. Es posible integrar varios programas según el área técnica o funcional requerida, optimizando los procesos y resultados.

13 Lecciones Aprendidas

Durante el tiempo como pasante en GR INGEOBRAS S.A.S., se adquirió una valiosa experiencia en diferentes actividades de ingeniería y se enfrentaron diferentes desafíos a lo largo de varios proyectos y situaciones. El conocimiento de distintos enfoques para llevar a cabo un trabajo y desenvolverse en el ámbito laboral ha sido fascinante. Se aprendió a realizar levantamientos en campo, llevarlos a un diseño en software CAD y, posteriormente, pasar a la fase de fabricación e instalación y además se participó en tareas como la supervisión de proyectos, la aplicación de técnicas de inspección visual y la realización de ensayos no destructivos en estructuras, analizando la aparición de poros y socavados.

La participación en el departamento de calidad permitió liberar estructuras usando métodos y pruebas mediante la medición de la rugosidad y espesores en estructuras aéreas o enterradas, así como elaborar dosieres de calidad, bajo cumplimiento de estándares. A parte de esto, se tuvo la oportunidad de aprender a realizar cotizaciones en el área de compras, esta enseñanza permitió tener enseñanza en diversas áreas de ingeniería. En cuanto al diseño, se aprendido a utilizar software CAD como Solidworks, elaborando planos y explorando sus complementos, como Solidworks Routing, para el diseño de tuberías, esta extensión permitió familiarizarme con distintos tipos de bridas, marcas y normativas aplicadas en la fabricación de tuberías a presión, así como comprender su uso en proyectos reales.

A continuación, se describen los aprendizajes y desafíos enfrentados durante la pasantía.

Tabla 11
Lecciones aprendidas

INCONVENIENTE Y APRENDIZAJE	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN
Las primeras semanas se tuvo dificultades porque que no se comprendía muchos conceptos y no se podía aportar soluciones a los problemas, ya que el trabajo era muy distinto a lo aprendido en la universidad.	No se tenían conocimientos sobre los tipos de materiales utilizados ni los calibres de lámina, aparte de esto, resultaba complicado entender como los trabajadores realizaban los cortes y dejaban tolerancias para distintas estructuras.	Revisar catálogos de materiales y aprender a diferenciar los calibres. Además, aumentar la observación en el área de trabajo para comprender, a través de la experiencia de los trabajadores, cómo realizan los cortes y cálculos para las estructuras.
Dificultad para interpretar planos de ingeniería con rapidez.	En cualquier empresa, es fundamental una respuesta rápida, ya que permite evaluar la complejidad de la estructura, los materiales y otros factores. Además, es necesario realizar	Dedicar una semana a la interpretación de planos, para identificar cualquier novedad o error que pudiera existir.

INCONVENIENTE Y APRENDIZAJE	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN
Dificultad para adaptarse a los tiempos de entrega establecidos por la empresa.	cotizaciones y luego elaborar un plano de taller para la fabricación, por eso, la falta de agilidad en la interpretación de planos dificultaba el cumplimiento de mis responsabilidades. Al ingresar por primera vez al entorno laboral, es común no tener claridad sobre cómo se manejan los procesos ni sobre el ritmo de trabajo, lo que puede dificultar cumplir con los entregables.	Mejorar la administración del tiempo y priorizar los entregables más relevantes o con menor plazo de entrega.
Falta de comprensión de las normas y procedimientos relacionados con la soldadura.	No conocer cómo se realiza una junta o cómo se comportan los materiales durante el proceso de soldadura puede generar errores frecuentes. Por ejemplo, al soldar una lámina delgada en una junta larga, esta se deforma por el calor; lo mismo ocurre al diseñar sin conocer los tipos de válvulas y su avance.	Revisión y capacitación sobre normas de soldadura aplicables al sector de hidrocarburos.
Desconocimiento al realizar análisis de precios unitarios (A.P.U.).	Para realizar un A.P.U. adecuado, es necesario tener en cuenta todos los factores posibles. La falta de análisis puede resultar en pérdidas económicas o estimaciones erradas de tiempo.	Contar con un rango amplio de proveedores para alquiler y compra de insumos, vehículos y servicios. Además, contemplar tiempos de entrega, disponibilidad de personal e imprevistos para lograr una planificación más precisa.
Adaptarse a nuevos programas	SolidWorks es un software eficiente para la creación de piezas y estructuras, sin embargo, en lo aprendido en las prácticas el software puede presentar limitaciones en proyectos de gran escala. Por ello, se optó por utilizar Autodesk Inventor 3D, un programa similar, pero con un mejor manejo de ensamblajes más complejos y sistemas de tuberías mecánicas con una gran cantidad de componentes. Aparte, inventor ofrece una biblioteca de materiales más amplia y permite una experiencia de trabajo más fluida y sencilla en el ensamblaje de piezas.	Contar con múltiples softwares que permitan una mayor versatilidad e intuición en el trabajo, facilitando así el desarrollo de cualquier tipo de proyecto, sin importar su complejidad o tamaño.
Entender el funcionamiento de diferentes estructuras o procesos	En el entorno laboral, las exigencias y enfoques son distintos a los académicos. Aunque la universidad proporciona las bases teóricas, no siempre se abordan los detalles específicos que deben considerarse en la práctica profesional. Para realizar un diseño estructural adecuado, es necesario considerar factores como la elección de materiales, facilidad de adquisición, costos, tiempos de fabricación, y desempeño estructural según el entorno (carga, altura, uso, etc.).	Revisar trabajos pasados, disponer de un tiempo para analizar lo que se ha hecho y lo que se realizará, realizar simulaciones y comparar diferentes materiales y diseños. También se sugiere cotizar materiales y realizar bocetos a mano alzada como parte del proceso para alcanzar una solución óptima.

Nota. Lecciones aprendidas por el pasante.

14 Recomendaciones

- Realizar la implementación de servicio en la nube para archivos: Durante el tiempo como pasante, se desempeñaron tareas en diferentes áreas de ingeniería, lo que llevó a manejar una cantidad de documentos considerable sin un control adecuado de su origen. Esta situación se debía a la falta de una nube o plataforma donde se almacenarán los archivos generados por las diversas áreas, lo que tanto a los empleados nuevos como los antiguos a preguntar o buscar la ubicación de los documentos, lo que generaba perdida en el tiempo del trabajador y una falta de control documental. Por ejemplo, aunque se implementó un consecutivo de planos de taller, si llegaba un nuevo dibujante, debía solicitar periódicamente los archivos para mantenerse actualizado; de igual forma, si algún trabajador necesitaba consultar el plano de una pieza, debía acercarse al área de ingeniería y revisar uno por uno hasta dar con el plano correcto. Una manera eficiente para reducir los tiempos muertos y tener el control de toda la información es mediante la implementación de una plataforma en la nube, que permita organizar carpetas por áreas para mejor control y dar permisos de acceso a cada trabajador para facilitar la búsqueda de cualquier información.
- Adquisición de equipos para ingeniería: Mientras se estuvo en el área de diseño, se identificó que muchas veces los trabajadores debían fabricar piezas especiales para equipos o estructuras, y al momento de tomar las medidas en campo, particularmente de una pieza muy pequeña, se presentaban dificultades debido a la falta de un equipo de alta precisión, como lo es un micrómetro, que sirve para medir dimensiones muy pequeñas con exactitud de las milésimas de milímetro. Esto hacía que diseñar o fabricar componentes como chumaceras o hélices resultara en un proceso lento, generando retrabajos hasta tener la pieza correcta. En una visita a otra empresa, observé el uso de una impresora 3D para la fabricación de piezas pequeñas deterioradas o de difícil fabricación, ya que, quizás su escala era muy reducida o presentaba ángulos complicados para elaborar. Por esto, la empresa podría mejorar significativamente sus procesos y acortar el tiempo de mantenimiento de diferentes componentes.

15 Conclusiones

El desarrollo de la pasantía empresarial le permitió al estudiante adquirir una valiosa experiencia al desempeñar distintos roles durante el transcurso de esta, siendo este su principal objetivo en la formación académica. Gracias a la participación en diversas áreas de la empresa como ingeniería, presupuestos y calidad, el pasante logró abarcar diversas actividades y quehaceres que enriquecieron su experiencia y habilidades mejorando su desenvolvimiento en el ámbito profesional. Como resultado, actualmente se desempeña como diseñador mecánico en la planta de etanol más grande de Colombia, lo que ha incrementado su experiencia laboral y es evidencia de los beneficios de realizar práctica profesional.

La mayor parte de la pasantía consistió en elaborar y ejecutar los presupuestos de los proyectos, realizando visitas de campo y participando en reuniones in situ para fabricarlos o montarlos. El pasante realizó los planos de taller y posteriormente, se encargó de toda lo relacionado al control de calidad necesario para despachar las estructuras al cliente final. Esto le permitió comprender el proceso detrás de cada proyecto y así cumplir con todos los requerimientos exigidos en la industria, además de la necesidad de demostrar los procedimientos para garantizar la durabilidad de las estructuras.

Amplió sus conocimientos al realizar simulaciones en varios programas de diseño asistido por computador, actualmente se encuentra utilizando las herramientas Inventor, SolidWorks, Autocad 2D, Autocad Plant 3D y Navisworks. Además, posee un sólido conocimiento en normas de soldadura y en el desarrollo de trabajos mecánicos, así como en los procedimientos necesarios para asegurar que las tuberías soporten altas presiones durante su operación.

Por último, la empresa GR INGEOBRAS S.A.S. ahora puede realizar trabajos de tuberías a presión en cualquier sector, lo que elimina la necesidad de subcontratar esos servicios. Esto les permite estandarizarlos internamente, mejorando su calidad y aumentando el cumplimiento de más normas que respaldan su trayectoria empresarial, generando también beneficios económicos tangibles y cuantificables.

16 Referencias

- American Petroleum Institute (API). (2019). *API Standard 650: Welded tanks for oil storage*. API.
- American Petroleum Institute (API). (2021). *API Standard 1104: Welding of pipelines and related facilities*. API.
- American Petroleum Institute (API). (2021). *Standards*. <https://www.api.org/products-and-services/standards>
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2022). *B31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids*. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2023). *Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)*. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2023a). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)*. ASME. <https://www.asme.org/codes-standards/bpvc-standards/bpvc-2023>
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2023b). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section V Nondestructive Examination*. ASME. <https://www.west-ti.com/Content/upload/pdf/2022689233/ASME-Sec-V-2023.pdf>
- American Welding Society (AWS). (2020). *AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code-Steel*. AWS.
- American Welding Society (AWS). (2020). *Código de soldadura estructural-Acero*. AWS.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2011). *UNE-EN 287-1:2011. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros*. AENOR.
- Cantú, O. (2022). *Soldadura en Estado Solido*. https://www.academia.edu/15949044/Soldadura_en_Estado_Solido
- Cevallos Guerrero, M. d., & Cisneros Martínez, M. V. (2013). Estudio de soldabilidad de aceros inoxidables y aceros al carbono mediante el proceso GTAW sin material de aporte. *[Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional]*. *Repositorio Institucional*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5732>
- Euroinnova. (20 de abril de 2022). *¿En qué consiste la soldadura autógena*. <https://www.euroinnova.co/blog/en-que-consiste-la-soldadura-autogena>
- Fiorella Representaciones S.A.C. (s.f). *Tubos ASTM A53/ASTM A106/API 5L Gr. B SCH STD/40/XS/80/160*. <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/804610.pdf>

- Gómez Duarte, F. (2012). Estandarización y documentación de los procesos operativos de la empresa Montaind Ltda. con base en los requisitos de la Norma ISO 9001:2008. *[Informe de pasantía, Universidad Autónoma de Occidente]. Repositorio Institucional.* <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/c3e66fff-d36b-4df1-bc4a-dffd0f379e9e/content>
- International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 9606-1: Qualification testing of welders-Fusion welding-Part 1: Steels*. ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2023). ISO 4063: Welding, brazing, soldering and cutting — Nomenclature of processes and reference numbers. *Soudage, brasage et coupage — Nomenclature et numérotation des procédés, Fifth edition*. ISO. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75108/1efa2a2198b64f12b224136d7035f34b/ISO-4063-2023.pdf>
- Li, L., Zhu, L., Yan, X., Jia, H., Xie, S., & Zou, Y. (2025). The Impact of Weld Repairs on the Microstructure and Mechanical Integrity of X80 Pipelines in Oil and Gas Transmission. *Processes*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/pr13020512>
- Lincoln Electric. (2017). *The Procedure Handbook of Arc Welding*. EEUU: Lincoln Electric Company.
- Lincoln Electric. (2025). *Examen de soldadura no destructivo*. <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/welding-and-cutting-resource-center/process-and-theory/nondestructive-weld-examination>
- Pipe Tools. (2025). *Alineadores externos para tubos SPC*. <https://www.dwt-pipetools.com/es/productos/herramientas-para-soldadura/alinear-las-tuberias/alineadores-externas-para-tubos/tipo-spc/>
- Ramirez Franco, M. D. (2023). Diseño de procedimiento de soldadura para la fabricación en tubería de aluminio 6XXX de componentes estructurales para el techo de botes. *[Trabajo de grado, Universidad EAN]. Repositorio Institucional.* <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/6014>
- Rayapandi, T. (2022). *Advanced Manufacturing Techniques for Engineering and Engineered Materials*. Muthayammal Engineering College.
- Spiegato. (06 de abril de 2022). *¿Qué es el trabajo en frío?* <https://spiegato.com/es/que-es-el-trabajo-en-frio>

Struers. (25 de agosto de 2022). *Inspección de soldadura metalográfica*.
<https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Weld-inspection#>

West Arco. (s.f). *Nuestro Portafolio West arco*.
<https://www.herramientasindustrialesas.com/assets/west-arco/pdf/west-arco.pdf>