



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE ACERO AL
CARBONO PARA MITIGAR LAS FUGAS DE ÁCIDO EN EL
ÁREA 420 DE LA FUNDICIÓN DE ILO**

PRESENTADO POR

BACHILLER LUIS MARCELO EDUARDO AZA NUÑEZ

ASESOR

MGR. ARNULFO ANDRE MEDINA VILLEGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2024



Universidad José Carlos Mariátegui

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, en calidad de Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias, certifica que el trabajo de investigación (___) / Tesis (___) / Trabajo de suficiencia profesional (___) / Trabajo académico (___), titulado **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO PARA MITIGAR LAS FUGAS DE ÁCIDO EN EL ÁREA 420 DE LA FUNDICIÓN DE ILO”** presentado por el(la) Bachiller **AZA NUÑEZ, LUIS MARCELO EDUARDO** para obtener el grado académico (___) o Título profesional (___) o Título de segunda especialidad (___) de: **INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**, y asesorado por el(la) **MGR. ARNULFO ANDRE MEDINA VILLEGAS**, designado como asesor con RESOLUCIÓN DE DECANATURA N°487-2024-DFAIA-UJCM, fue sometido a revisión de similitud textual con el software TURNITIN, conforme a lo dispuesto en la normativa interna aplicable en la UJCM.

En tal sentido, se emite el presente certificado de originalidad, de acuerdo al siguiente detalle:

Programa académico	Aspirante(s)	Trabajo de suficiencia profesional	Porcentaje de similitud
Ingeniería Mecánica Eléctrica	Aza Nuñez, Luis Marcelo Eduardo	“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO PARA MITIGAR LAS FUGAS DE ÁCIDO EN EL ÁREA 420 DE LA FUNDICIÓN DE ILO”	11 % (02 de diciembre de 2024)

El porcentaje de similitud del Trabajo de investigación es del **11 %**, que está por debajo del límite **PERMITIDO** por la UJCM, por lo que se considera apto para su publicación en el Repositorio Institucional de la UJCM.

Se emite el presente certificado de similitud con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención de grado académico o título profesional o título de segunda especialidad.

Moquegua, 02 de diciembre de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI
FACULTAD DE CIENCIAS

Dr. JAVIER PEDRO FLORES AROCUTIPA
Jefe de la Unidad de Investigación

ÍNDICE

PÁGINA DE JURADO	i
CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD.....	ii.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCION	xii

CAPÍTULO I.

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción de cómo es y qué tipo de servicio otorga la organización o empresa.....	2
1.3. Contexto socioeconómico, descripción del área de la distribución.....	3
1.4. Descripción de la experiencia.....	4
1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas	4
1.6. Propósito del puesto	5
1.7. Producto o proceso que será objeto del informe	5

1.8. Resultados concretos que ha alcanzado en este periodo de tiempo.....	6
---	---

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral en la situación objeto del informe, como se integraron ambas para resolver problemas.	8
2.2. Descripción de las acciones, metodología y procedimiento a los que se recurrió para resolver la situación profesional objeto del informe.....	17
2.2.1. Acciones Realizadas.....	17
2.2.2. Metodología.....	18
2.2.3. Procedimiento.....	19

CAPÍTULO III.

APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1. Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridos durante la carrera.....	21
3.1.1. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)	24
3.1.2. Planos del diseño de las piezas	28
3.1.2. Cálculos empleados	36
3.2. Desarrollo de experiencias.	38
3.2.1. Inspección de juntas soldadas.....	38
3.2.2. Inspección visual y dimensional.....	40
3.2.3. Inspección de ultrasonido por arreglo de fases.....	41

3.2.4. Uniones soldadas	43
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS.....	51
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del rediseño.....	36
Tabla 2 Uniones soldadas.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la Empresa	2
Figura 2 Tuberías a cambiar	23
Figura 3 Mapa de tuberías reemplazadas	29
Figura 4 Mapa del detalle 01	30
Figura 5 Mapa del detalle 02	31
Figura 6 Mapa del detalle 03	32
Figura 7 Mapa del detalle 04	33
Figura 8 Mapa del detalle 05	34
Figura 9 Mapa del detalle 06	35

RESUMEN

La fundición de Ilo, específicamente en su Área 420, se enfrenta a un desafío significativo debido a las fugas recurrentes en sus tuberías de acero al carbono, que transportan ácidos esenciales para sus procesos industriales. Estas fugas no solo ponen en riesgo la seguridad del personal y la integridad de las instalaciones, sino que también pueden tener impactos ambientales negativos. El principal objetivo del rediseño del sistema de tuberías es mitigar o eliminar estas fugas, mejorando la durabilidad y la seguridad del sistema. Además, se busca reducir los costos de mantenimiento y los tiempos de inactividad asociados con las reparaciones de las fugas. Para abordar esta problemática, se ha realizado un análisis exhaustivo del sistema actual. Este análisis incluye la evaluación de las tuberías existentes y sus fallas, la identificación de los puntos críticos donde se producen más fugas y la revisión de los materiales utilizados actualmente para determinar su compatibilidad con los ácidos manejados. La propuesta de rediseño incluye la selección de nuevos materiales más resistentes a la corrosión ácida, como aleaciones especializadas o revestimientos avanzados. La implementación del nuevo sistema de tuberías requerirá una planificación cuidadosa, incluyendo la instalación de las nuevas tuberías y la realización de pruebas de presión y corrosión para garantizar su durabilidad y resistencia. Con estas medidas, se espera una reducción significativa o eliminación de las fugas de ácido, una mayor vida útil del sistema de tuberías y mejoras en la seguridad y las condiciones operativas del Área 420.

Palabras clave: Rediseño, Sistema de tuberías, Acero al carbono, Mitigar

ABSTRACT

The Ilo smelter, specifically in its Area 420, is facing a significant challenge due to recurring leaks in its carbon steel pipes, which transport acids essential for its industrial processes. These leaks not only put personnel safety and facility integrity at risk, but can also have negative environmental impacts. The primary goal of piping system redesign is to mitigate or eliminate these leaks, improving the durability and safety of the system. Additionally, it seeks to reduce maintenance costs and downtime associated with leak repairs. To address this problem, an exhaustive analysis of the current system has been carried out. This analysis includes the evaluation of existing pipes and their failures, the identification of critical points where the most leaks occur, and the review of the materials currently used to determine their compatibility with the acids handled. The redesign proposal includes the selection of new materials more resistant to acid corrosion, such as specialized alloys or advanced coatings. Implementation of the new piping system will require careful planning, including installing the new pipes and performing pressure and corrosion testing to ensure their durability and strength. With these measures, a significant reduction or elimination of acid leaks, increased piping system life, and improvements in the safety and operating conditions of Area 420 are expected.

Keywords: Redesign, Piping system, Carbon steel, Mitigate

INTRODUCCIÓN

La Fundición de Ilo, ubicada en la región costera del Perú, es una de las instalaciones metalúrgicas más importantes del país, este complejo industrial, dedicado a la producción y procesamiento de metales no ferrosos, ha sido crucial para el desarrollo económico regional y nacional. Sin embargo, como toda infraestructura industrial de gran escala, enfrenta desafíos significativos relacionados con el mantenimiento y la optimización de sus sistemas. Uno de los problemas más críticos que enfrenta la fundición es la ocurrencia de fugas de ácido en el sistema de tuberías de acero al carbono del Área 420, esta área es vital para el proceso de tratamiento químico de metales, donde el uso de ácidos fuertes es imprescindible, las fugas no solo representan una pérdida económica considerable debido a la interrupción del proceso y el costo del ácido perdido, sino que también implican riesgos significativos para la seguridad del personal y el medio ambiente circundante (Wang et al., 2024). El sistema de tuberías de acero al carbono, aunque es robusto, no es inmune a la corrosión y el desgaste inducido por el manejo constante de ácidos corrosivos, con el tiempo, estos factores pueden comprometer la integridad estructural de las tuberías, conduciendo a fugas recurrentes que requieren intervenciones de mantenimiento frecuentes y costosas, además, la ubicación geográfica de la Fundición de Ilo, expuesta a condiciones ambientales adversas, exacerba la tasa de corrosión, acelerando el deterioro de las tuberías (Zhang et al., 2023). El rediseño del sistema de tuberías en el Área 420 se presenta como una solución integral para abordar estas problemáticas, este proyecto no solo se enfocó en la sustitución de las tuberías deterioradas, sino que también implicó la

implementación de pruebas de funcionamiento para poder verificar que la instalación se encuentre en estado óptimo (Zhang et al., 2022).

CAPÍTULO I.

ASPECTOS GENERALES DEL TEMA

1.1. Antecedentes

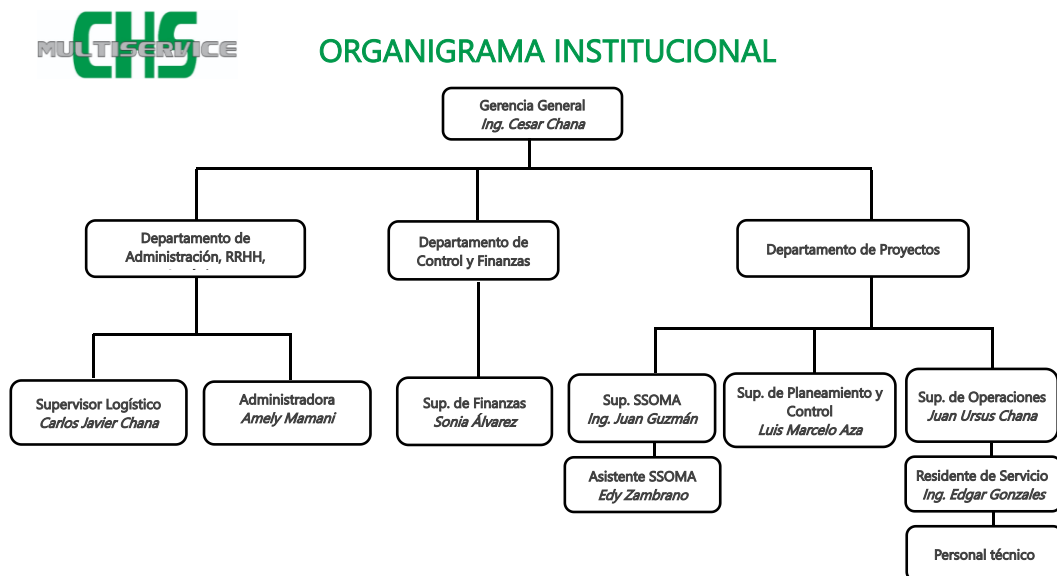
Es una empresa Ileña al servicio de la comunidad y la industria. Constantemente está reafirmando su compromiso de ser parte del crecimiento de nuestra ciudad y zona, su mayor fortaleza es el capital humano, que asegura el logro exitoso de los objetivos y obligaciones, también cuenta con una amplia variedad de equipos y herramientas que permiten completar tareas de manera eficiente y efectiva. MULTISERVICE CHS es una organización orgullosamente Ileña lista para servir. Su objetivo es brindar servicios de alta calidad mientras se adhiere a los estándares establecidos, utiliza tecnología de punta y trabaja diligentemente para comprender las necesidades de los clientes y satisfacer sus expectativas con soluciones confiables, rentables y eficientes. Su misión es ser la firma líder en la provincia de Ilo, contribuyendo al crecimiento del sector minero, pesquero e industrial brindando un servicio superior y con un compromiso total con la seguridad, la salud ocupacional, la preservación del medio ambiente y la calidad del cliente.

1.2. Descripción de cómo es y qué tipo de servicio otorga la organización o empresa

El objetivo de la firma es ser la empresa líder en la provincia de Ilo, contribuyendo al crecimiento del sector minero, pesquero e industrial, brindando un servicio superior y con un compromiso total con la seguridad, la salud ocupacional y la preservación del medio ambiente.

Figura 1

Organigrama de la Empresa



La empresa MULTISERVICE CHS SRL es una empresa que se dedica a actividades de las disciplinas principales del mercado al sur del Perú, como es el área de la parte mecánica (diseño y fabricación, granallado y pintado), construcción civil, eléctrica e instrumentación, aire acondicionado y demás actividades que requiera el sector industrial. La empresa MULTISERVICE CHS SRL por la dedicación y prestación de servicios con calidad a diversos clientes del sur, logró

ampliar prestigio en las diversas instalaciones de las diversas plantas industriales de la ciudad de Ilo. Los servicios que brinda la compañía son los siguientes:

- Mantenimiento general grúa pórtico monorriel gri-106 de 5tn área 620 fundición.
- Instalación de equipo de 240kbtus sala de reuniones mantenimiento – fundición.
- Servicio de cambio de sectores de tubería de transferencia y producto de ácido sulfúrico desde área 410 hasta área 420.
- Pintado de oficina operaciones puerto.
- Mantenimiento del repostero del comedor de la oficina de la superintendencia de operaciones puerto.
- Implementación de piso de sala de capacitación y oficinas de aduanas.
- Mantenimiento del comedor y vestuario del terminal tablones.
- Construcción del almacén de núcleos de perforación del proyecto cerro azul.
- Fabricación e instalación de guardas de protección en nueve fajas transportadoras de la concentradora 1.
- Instalación de 02 grúas pescantes taller mecánico 03 fundición – SPCC.

1.3. Contexto socioeconómico, descripción del área de la distribución

El desarrollo del proyecto “MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SECTORES DE TUBERÍA, FUNDICIÓN ILO, dió la oportunidad a los colaboradores de la Empresa Multiservice CHS y beneficio a la empresa SPCC, ya que la finalidad de este proyecto es realizar el mantenimiento de sectores de tubería para evitar disminuir la productividad con el comercio de ácido.

- Actividad económica principal: Actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de consultoría técnica
- Actividad económica secundaria 1: Fabricación de productos metálicos para uso estructural
- Actividad económica secundaria 2: Alquiler y arrendamiento de otros tipos de maquinaria, equipo y bienes tangibles

1.4. Descripción de la experiencia

Las actividades realizadas en el proyecto: MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SECTORES DE TUBERÍA, FUNDICIÓN ILO, fueron como PLANNER. Cuya actividad principal fue el desarrollo de la planificación de la licitación general, encargado de armar las propuestas técnicas y la propuesta económica de igual manera encargado de realizar el seguimiento de ejecución en campo. Todas estas actividades fueron desarrolladas en las instalaciones de Multiservice CHS, así como en las instalaciones de SPCC, para poder desarrollar el proyecto.

1.5. Explicación del cargo, funciones ejecutadas

El cargo de Supervisor Planner en el contexto del rediseño de un sistema de tuberías de acero al carbono implica un conjunto específico de responsabilidades y funciones. Estas tareas están orientadas a asegurar que el proyecto de rediseño se lleve a cabo de manera efectiva, segura y conforme a los estándares de calidad y normativas aplicables (Colvalkar et al., 2023). A continuación, se detallan las funciones y responsabilidades:

- Crear un cronograma detallado de todas las etapas del proyecto.

- Identificar los recursos necesarios (materiales, equipos, personal).
- Supervisar las inspecciones iniciales para identificar causas de fugas.
- Realizar un análisis de riesgos y proponer medidas correctivas.
- Asegurar que el nuevo diseño cumpla con las especificaciones técnicas.
- Supervisar la selección de materiales adecuados.
- Supervisar la instalación de las nuevas tuberías conforme a los planos y especificaciones.
- Implementar controles de calidad.
- Asegurar el cumplimiento de normativas.
- Proporcionar capacitación adecuada al personal.

1.6. Propósito del puesto

El propósito del puesto de Supervisor Planner en el rediseño de un sistema de tuberías de acero al carbono es garantizar la planificación, coordinación y ejecución eficiente del proyecto. Este rol es crucial para reducir o eliminar las fugas de ácido, mejorar la durabilidad del sistema de tuberías, y asegurar que todas las actividades se realicen conforme a las normativas de seguridad y calidad establecidas.

1.7. Producto o proceso que será objeto del informe

Realizar el rediseño y aseguramiento de calidad al proyecto “rediseño del sistema de tuberías de acero al carbono para mitigar las fugas de ácido en el área 420 de la fundición de Ilo”, de acuerdo a las normas, estándares y especificaciones brindadas por el cliente la cual se basan en normas nacionales e internacionales.

En el presente proyecto “rediseño del sistema de tuberías de acero al carbono para mitigar las fugas de ácido en el área 420 de la fundición de Ilo”, el rediseño se realizará de acuerdo a los procedimientos elaborados por la contratista y estas a su vez son revisadas y aprobadas por el cliente para su respectiva ejecución.

1.8. Resultados concretos que ha alcanzado en este periodo de tiempo

Los hallazgos alcanzados en el lapso de tiempo en donde se desarrolló el proyecto son los siguientes:

- Se logró una disminución considerable en la frecuencia y cantidad de fugas de ácido, mejorando la integridad del sistema de tuberías y reduciendo los riesgos asociados.
- La implementación de materiales de alta resistencia y recubrimientos especiales en las tuberías de acero al carbono aumentó la durabilidad y la vida útil del sistema.
- Al reducir las fugas de ácido, se mejoraron las condiciones de seguridad en el área 420, protegiendo mejor al personal y minimizando los riesgos ambientales.
- Se optimizó el uso de recursos humanos, materiales y financieros, asegurando una ejecución eficiente y controlada del proyecto.
- El rediseño cumplió con todas las normativas de seguridad y medio ambiente, así como con los estándares de calidad industriales, garantizando un funcionamiento conforme a la regulación.

- La nueva configuración del sistema de tuberías facilitó las tareas de mantenimiento y reparación, reduciendo tiempos de inactividad y costos operativos.
- La mitigación de fugas y la mejora en la seguridad y eficiencia operativa contribuyeron a un aumento en la productividad de la fundición.
- Se establecieron procedimientos y controles de calidad más rigurosos, así como una documentación detallada y actualizada de todas las actividades y modificaciones realizadas.

El rediseño del sistema de tuberías en el área 420 de la Fundición de Ilo resultó en una mejora significativa en la integridad del sistema, la seguridad operativa, y la eficiencia de recursos, cumpliendo con las normativas y estándares requeridos y contribuyendo al incremento de la productividad general de la fundición.

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Explicación del papel que jugaron la teoría y la práctica en el desempeño laboral en la situación objeto del informe, como se integraron ambas para resolver problemas.

La teoría proporciona la base para poder realizar las prácticas, ya que es por la misma información se logra comprender con más claridad las diversas situaciones que se puedan presentar. “La teoría se define como el conjunto de reglas, principios y conocimientos acerca de una ciencia, doctrina o una actividad, prescindiendo de sus posibles aplicaciones prácticas” (Roque, 2018).

Se concluye, que la teoría y la práctica son aspectos distintos lo cual se complementan en el rediseño del sistema de las tuberías. La teoría nos proporciona los procedimientos, normas e información técnica del material para el desarrollo, y la práctica es necesaria para el aseguramiento y montaje de acuerdo a las normas e información de cada material.

2.1.1. Tubería de acero al carbono

Una tubería de acero al carbono es un tipo de tubo fabricado principalmente con acero que contiene una cantidad específica de carbono, generalmente menor al 2%, como componente clave. Este material otorga al acero una combinación de resistencia, ductilidad y dureza, haciéndolo ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales (Guo et al., 2024).

2.1.2. Características principales

Una de sus principales características es su notable resistencia a la presión, lo que las hace aptas para transportar gases, líquidos y vapor en condiciones de alta presión sin comprometer su integridad estructural. Además, estas tuberías son conocidas por su durabilidad, ya que pueden soportar condiciones ambientales extremas y mantener su funcionalidad durante largos períodos de tiempo sin presentar deformaciones o desgaste significativo (Sahu et al., 2024).

Otra ventaja importante es su capacidad para manejar altas temperaturas. El acero al carbono es capaz de soportar temperaturas elevadas, lo que permite su uso en centrales térmicas y en la industria petroquímica, donde los fluidos calientes son transportados de manera constante. Aunque el acero al carbono puede ser susceptible a la oxidación, este problema se mitiga mediante la aplicación de recubrimientos protectores como el galvanizado o el revestimiento con materiales epóxicos, lo que aumenta su resistencia a la corrosión y le permite ser utilizado en ambientes húmedos o corrosivos sin que se degrade rápidamente (Yeob & Liang, 2023).

Estas tuberías también ofrecen una gran versatilidad en términos de diseño, ya que se fabrican en una amplia variedad de diámetros y espesores. Esto permite

su adaptación a diferentes necesidades, desde pequeñas instalaciones domésticas hasta proyectos industriales a gran escala. En cuanto a su fabricación, pueden ser sin costura, lo que aumenta su resistencia al eliminar puntos débiles, o con costura, una opción más económica para proyectos menos exigentes en términos de presión (Gadagi & Adake, 2022).

La facilidad de unión es otra característica destacada de las tuberías de acero al carbono. Al ser fácil de soldar y unir mediante diversos métodos, estas tuberías simplifican su instalación y mantenimiento, lo que resulta ventajoso en proyectos que requieren una implementación rápida y eficaz. Su rigidez también es un factor importante, ya que les permite mantener su forma bajo cargas pesadas o en condiciones de compresión, lo que las hace adecuadas para instalaciones subterráneas o infraestructuras que soportan cargas mecánicas (Li & Zhu, 2022).

En cuanto al costo, el acero al carbono se presenta como una opción económicamente viable en comparación con otros materiales como el acero inoxidable. Esta relación favorable entre costo y rendimiento lo convierte en una alternativa rentable para proyectos de gran envergadura. Además, su resistencia al impacto asegura que puedan soportar golpes y choques sin sufrir daños estructurales, una ventaja en entornos industriales donde los riesgos de impactos físicos son frecuentes (Indra et al., 2022).

2.1.3. Tipos de tuberías al carbono

Las tuberías de acero al carbono se clasifican en varios tipos, dependiendo de su proceso de fabricación y las aplicaciones a las que están destinadas. Cada tipo tiene características particulares que las hacen más adecuadas para ciertas

condiciones de uso. A continuación, se describen los principales tipos de tuberías de acero al carbono (Seshu et al., 2021):

2.1.3.1. Tuberías de acero al carbono sin costura

Estas tuberías se fabrican mediante un proceso que no involucra la soldadura, lo que significa que no tienen una costura o unión visible. Este tipo de tuberías se produce extrayendo una pieza sólida de acero, calentándola y formándola en forma de tubo (Mazeedi et al., 2021).

- **Mayor resistencia:** Al no tener una costura, estas tuberías son más resistentes a la presión y a las tensiones que pueden debilitar las uniones soldadas.
- **Uso en aplicaciones críticas:** Son ideales para entornos donde se requieren altas presiones y temperaturas, como en la industria del petróleo, gas y energía.
- **Mayor costo:** Debido a su proceso de fabricación más complejo, suelen ser más caras que las tuberías con costura.

2.1.3.2. Tuberías de acero al carbono con costura

Las tuberías con costura, también conocidas como tuberías ERW (Electric Resistance Welded), se fabrican a partir de una lámina de acero enrollada, que se forma en forma tubular y luego se suelda a lo largo de su longitud mediante un proceso de soldadura por resistencia eléctrica (Rajamurugan et al., 2021).

- **Costo más bajo:** El proceso de fabricación es más económico que el de las tuberías sin costura, lo que las convierte en una opción más asequible.

- **Menor resistencia a la presión:** Aunque son adecuadas para muchas aplicaciones, no son tan resistentes como las tuberías sin costura y no se recomiendan para situaciones de alta presión.
- **Amplias aplicaciones:** Se utilizan en sistemas de distribución de agua, gas y petróleo a baja y media presión.

2.1.3.3. Tuberías de acero al carbono LSAW

Las tuberías LSAW se fabrican a partir de planchas de acero que se doblan y se sueldan longitudinalmente mediante un proceso de soldadura por arco sumergido. Estas tuberías suelen tener grandes diámetros y son muy utilizadas en proyectos de infraestructura a gran escala (Kim et al., 2020).

- **Alta resistencia:** Aunque tienen una costura, su proceso de soldadura les otorga una gran resistencia, lo que las hace aptas para aplicaciones de alta presión y grandes diámetros.
- **Uso en tuberías de transporte:** Son comúnmente empleadas en la construcción de tuberías para el transporte de petróleo, gas y agua a larga distancia.
- **Proceso de fabricación específico:** Su proceso de producción es más sofisticado y controlado, lo que les permite ser más fiables para aplicaciones críticas.

2.1.3.4. Tuberías de acero al carbono SSAW

Las tuberías SSAW, o tuberías de soldadura en espiral, se fabrican enrollando una banda de acero en forma de espiral y soldando la costura a lo largo

de la tubería. El proceso de soldadura también se realiza mediante un arco sumergido (Rezvani et al., 2020).

- **Fabricación en grandes longitudes:** Este proceso permite la fabricación de tuberías muy largas, lo que es ventajoso para proyectos a gran escala.
- **Aplicaciones en transporte:** Son muy utilizadas en proyectos de transporte de fluidos y gases, como tuberías de gas natural y petróleo.
- **Buena relación costo-beneficio:** Ofrecen una buena resistencia a la presión y son más económicas en comparación con las tuberías sin costura y LSAW.

2.1.3.5. Tuberías galvanizadas de acero al carbono

Estas tuberías están recubiertas con una capa de zinc mediante un proceso de galvanización, lo que las protege contra la corrosión (Guo et al., 2024).

- **Protección contra la corrosión:** El revestimiento de zinc le proporciona una alta resistencia a la oxidación, haciéndolas adecuadas para aplicaciones en exteriores o en ambientes húmedos.
- **Uso común en sistemas de agua y estructuras:** Se utilizan frecuentemente en sistemas de distribución de agua potable, plomería y en estructuras que requieren resistencia a la corrosión.
- **Menor durabilidad del recubrimiento:** Con el tiempo, el revestimiento de zinc puede desgastarse, lo que reduce la protección contra la corrosión, especialmente en ambientes agresivos.

2.1.4. Usos principales de las tuberías al carbono

Las tuberías de acero al carbono se utilizan ampliamente en diversas industrias debido a su resistencia, durabilidad y capacidad para soportar condiciones extremas. Uno de sus usos más importantes se encuentra en la industria del petróleo y gas, donde son esenciales para el transporte de petróleo crudo, gas natural y productos refinados a través de grandes distancias. Su capacidad para soportar altas presiones y temperaturas extremas las convierte en una opción ideal para oleoductos, gasoductos y plataformas de perforación (Rajamurugan et al., 2021).

En las centrales eléctricas y plantas de energía, las tuberías de acero al carbono desempeñan un papel crucial en el transporte de vapor y agua a alta presión. Estas tuberías son indispensables para la generación de electricidad en plantas térmicas y nucleares, donde el manejo de fluidos a altas temperaturas es esencial para el funcionamiento continuo. Además, en el transporte de agua, ya sea para suministro doméstico o industrial, estas tuberías se utilizan debido a su capacidad para soportar presiones elevadas, y cuando están galvanizadas, resisten la corrosión, lo que las hace adecuadas para la conducción de agua potable (Seshu et al., 2021).

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) también se benefician del uso de tuberías de acero al carbono, ya que permiten el transporte de agua caliente, vapor y otros fluidos que mantienen la temperatura en edificios y plantas industriales. Su resistencia a la presión y durabilidad garantizan un funcionamiento seguro y eficaz. En la industria automotriz, estas tuberías se utilizan en los sistemas de escape y en componentes estructurales que requieren una alta resistencia a las altas temperaturas y a los gases corrosivos.

2.1.5. Soldadura para tuberías de acero al carbono

La soldadura para tuberías de acero al carbono es un proceso crucial para garantizar la integridad y durabilidad de las uniones en aplicaciones industriales. Existen varios métodos de soldadura que se utilizan dependiendo de los requisitos del proyecto, como la presión, el tipo de fluido transportado y el entorno en el que se instalarán las tuberías (Yeob & Liang, 2023).

2.1.5.1. Soldadura por Arco de Metal y Gas (GMAW o MIG)

La soldadura por arco de metal y gas (conocida como MIG por su sigla en inglés) es uno de los métodos más utilizados para soldar tuberías de acero al carbono. En este proceso, se utiliza un alambre de electrodo continuo y un gas de protección que evita que el oxígeno afecte la calidad de la soldadura (Saravanan et al., 2020).

2.1.5.2. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW o Stick)

El proceso de soldadura con electrodo revestido (SMAW o Stick) es uno de los métodos más versátiles y utilizados en la soldadura de tuberías de acero al carbono, especialmente en ambientes exteriores y proyectos de construcción a gran escala.

2.1.5.3. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW o Stick)

La soldadura por arco con gas tungsteno (TIG) es un proceso que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y gas de protección (generalmente argón o helio) para soldar el acero al carbono. Es un método más lento y especializado, pero produce una soldadura de alta calidad (Indra et al., 2022).

2.1.5.4. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW o Stick)

La soldadura por arco sumergido (SAW) es un método automatizado que implica sumergir el arco eléctrico bajo un polvo granular protector mientras se forma la soldadura. Este proceso es utilizado principalmente en aplicaciones industriales de gran escala.

2.1.5.5. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW o Stick)

Este método se utiliza principalmente para la fabricación de tuberías de acero al carbono con costura. La soldadura por resistencia eléctrica (ERW) utiliza corrientes eléctricas de alta frecuencia para fusionar los bordes de la tubería sin la necesidad de material de relleno (Zhang et al., 2024).

2.1.6. Inspección de ultrasonido por arreglo de fases

La inspección por ultrasonido por arreglo de fases es una técnica no destructiva utilizada para evaluar la integridad de materiales y estructuras. Se basa en el mismo principio que el ultrasonido médico, pero se aplica principalmente en la industria para detectar defectos, evaluar la calidad de soldaduras y verificar la homogeneidad de materiales (Indra et al., 2022).

- **Transductores en Arreglo:** Utiliza un conjunto de transductores organizados en una configuración lineal o matricial. Cada transductor puede emitir y recibir ondas ultrasónicas.
- **Control de Fase:** Al activar los transductores en diferentes momentos, se pueden enfocar las ondas ultrasónicas en diversas direcciones y profundidades, lo que permite obtener imágenes detalladas del interior del material inspeccionado.

- **Imágenes de Alta Resolución:** La técnica permite crear imágenes en tiempo real con alta resolución, facilitando la identificación de defectos como grietas, porosidad y otros tipos de imperfecciones.

2.1.7. Inspección visual y dimensional

La inspección visual es un proceso de evaluación que se realiza mediante la observación directa del objeto, sin necesidad de herramientas complejas. Se centra en detectar defectos superficiales o irregularidades. Mientras que la inspección dimensional Consiste en medir las dimensiones físicas de un objeto para verificar que cumple con las especificaciones técnicas y tolerancias establecidas (Saravanan et al., 2020).

2.2. Descripción de las acciones, metodología y procedimiento a los que se recurrió para resolver la situación profesional objeto del informe.

2.2.1. Acciones Realizadas

- **Inspección Visual y Técnica:** Se realizaron inspecciones detalladas para identificar las fugas y evaluar el estado actual de las tuberías.
- **Análisis de Causas Raíz:** Se identificaron las causas principales de las fugas, enfocándose en la corrosión y el desgaste de las tuberías de acero al carbono.
- **Investigación de Materiales:** Se investigaron diferentes tipos de tuberías y recubrimientos resistentes a la corrosión.
- **Pruebas de Materiales:** Se realizaron pruebas de laboratorio para evaluar la resistencia y durabilidad de los materiales seleccionados.
- **Desarrollo de Planos y Especificaciones:** Se crearon planos detallados y especificaciones técnicas del nuevo sistema de tuberías.

- **Modelado y Simulación:** Se utilizaron software de modelado y simulación para prever el comportamiento del nuevo diseño bajo diversas condiciones operativas.
- **Desmontaje de Tuberías Existentes:** Se coordinó el desmontaje seguro de las tuberías antiguas.
- **Instalación de Nuevas Tuberías:** Se supervisó la instalación de las nuevas tuberías y recubrimientos, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- **Formación del Personal:** Se capacitó al personal en los nuevos procedimientos de instalación, operación y mantenimiento del sistema.
- **Pruebas de Presión y Estanqueidad:** Se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar que el sistema estuviera libre de fugas.
- **Monitoreo Continuo:** Se implementaron sistemas de monitoreo para evaluar el rendimiento del sistema y detectar posibles problemas futuros.

2.2.2. Metodología

- **Análisis de Fallos y Efectos (FMEA):** Utilizado para identificar y evaluar posibles modos de fallo en el sistema de tuberías y sus efectos en la operación.
- **Gestión de Proyectos:** Aplicación de los principios del Project Management Institute (PMI) para planificar, ejecutar y cerrar el proyecto de rediseño.
- **Cronograma Detallado:** Uso de herramientas como Gantt y PERT para organizar y controlar las tareas del proyecto.
- **Ingeniería de Confiabilidad:** Aplicación de principios de confiabilidad para asegurar que el sistema de tuberías diseñado sea durable y funcione correctamente durante su vida útil esperada.

2.2.3. Procedimiento

➤ Planificación Inicial

- Reuniones de Kickoff: Reuniones iniciales con todos los involucrados para definir objetivos, alcances y responsabilidades.

➤ Fase de Diseño

- Recopilación de Datos: Obtención de datos operativos y de diseño de las tuberías existentes.
- Desarrollo de Prototipos: Creación y prueba de prototipos de secciones de tuberías.

➤ Fase de Implementación

- Desmontaje: Coordinación del desmontaje seguro de las tuberías antiguas.
- Instalación: Instalación de las nuevas tuberías, siguiendo los planos y especificaciones.

➤ Fase de Validación

- Pruebas: Realización de pruebas de presión y estanqueidad en el sistema nuevo.
- Inspección Final: Inspección detallada para asegurar que todas las instalaciones cumplan con los requisitos establecidos.

➤ Capacitación y Documentación

- Capacitación del Personal: Entrenamiento del personal en la operación y mantenimiento del nuevo sistema.
- Documentación: Creación de manuales de operación y mantenimiento, y documentación de todas las fases del proyecto.

➤ Seguimiento y Mejora Continua

- Monitoreo: Implementación de un sistema de monitoreo continuo para detectar y corregir cualquier problema emergente.
- Revisión Post-implementación: Evaluación del rendimiento del sistema y ajuste de procedimientos según sea necesario.

El rediseño del sistema de tuberías de acero al carbono en el área 420 de la Fundición de Ilo fue un proceso complejo que integró teoría y práctica mediante una planificación meticulosa, el uso de metodologías de ingeniería y gestión de proyectos, y una ejecución rigurosa. Las acciones específicas, la metodología estructurada y los procedimientos detallados garantizaron una solución eficaz y duradera para mitigar las fugas de ácido, mejorando así la seguridad y eficiencia operativa.

CAPÍTULO III.

APORTES Y DESARROLLO DE EXPERIENCIAS

3.1. Aportes utilizando los conocimientos o bases teóricas adquiridos durante la carrera.

Viendo la situación actual de la zona para poder realizar el desmontaje; se utilizó un camión grúa para realizar las actividades de retiro de tapas de concreto, de codos y tramos de tubería de la línea de ácido. Habiendo identificado las líneas a intervenir se inicia con el cambio de las tuberías, se procede a realizar las tomas de medidas para la fabricación de spools en taller.

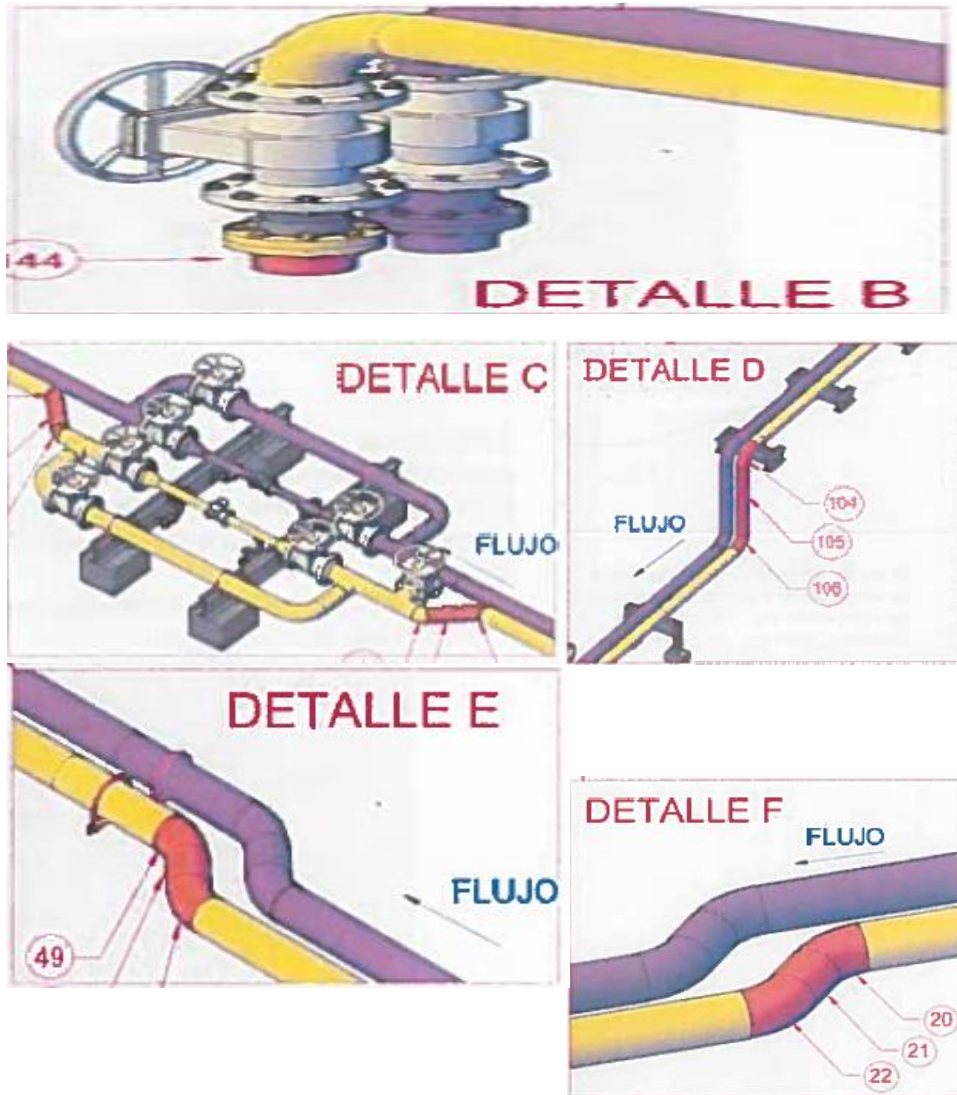
Se usaron tuberías ASTM A-50 8" para el desarrollo de todo el armado en taller. Iniciando con las actividades se procede con la preparación a cargo de los mecánicos, cuyo material y equipos a usar son amoladoras con disco de 4 ½" y 7" para el biselado del extremo de la tubería. Así mismo para el apuntalado se usó máquina de soldar y supercito E7018 para el apuntalamiento de las tuberías con los accesorios. Se realizó el apuntalado de las juntas para modificar en campo si fuese la necesidad al no estar al eje de las tuberías existentes. Culminado con todo el apuntalado de las juntas se procede con el arenado y pintado de toda los spools,

según alcance se pintó en LILA RAL 4008. Habiendo culminado con la fabricación se embolsó y se trasladó los spools culminados a campo para proceder con la instalación. Se inicia con el corte y desmontaje de 12 codos de 8" de la línea de ácido y de 18 mts de tubería recta de acuerdo a lo indicado por el alcance. Para el soldeo de las tuberías estuvieron a cargo de personal especializado y homologado. Será soldado por el proceso de SMAW y GMAW.

Según alcance se tiene identificado los tramos y lugares que se realizara el cambio. Para el montaje del SPOOLS del detalle D, se realizó en apoyo con una grúa para el izaje y el posicionamiento. Al haber obstáculos en la zona de ejecución se armó andamios y con la ayuda de tecles se ayudó para el retiro e instalación. Para cada proceso se instaló plancha de neopreno entre el soporte metálico y la superficie de la tubería para evitar el par galvánico. Para evitar el desgaste o evitar algún amago de incendio se cubrió la zona con mantas ignífugas para evitar el contacto con los materiales existentes. Para el cambio en el detalle C, E y F, al estar expuesto al suelo, el cambio se facilitó para ya que los mecánicos y soldadores usaron herramientas manuales para facilitar el cambio, y no será necesario para el uso de escaleras y/o andamios para el desarrollo del desmontaje. Para el desarrollo del detalle B, se procede con la instalación en la parte superior del tanque. Usando las herramientas e implementos para poder acceder sin ningún problema evitando el riesgo de que sea observado por personal de SPCC. Culminando con el soldeo se procederá con la instalación de la brida nueva a la existente, cuya conexión será empernada. Para mantener la hermeticidad de la junta se colocó teflón expandible (sellador sealon) en la parte de la cara levantada de la brida. Las tuberías a cambiar están pintadas de color rojo.

Figura 2

Tuberías a cambiar



Culminado el soldeo de todos los tramos a intervenir. El ingeniero de calidad realizara las inspecciones respectivas para validar la junta soldada.

Habiendo sido aprobadas todas las juntas se realizó el pintado de las líneas en las zonas afectadas por la soldadura. Para finalmente cubrirlas con las mantas plásticas para su protección según indicaciones del alcance. El personal estuvo con traje impermeable al ácido para salvaguardar el bienestar del personal, ya que la zona de trabajo a desarrollar es en el área de ácido.

3.1.1. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)

Se siguen las normas de la ASME BPVC Sección IX, este tipo de especificación es fundamental para asegurar la calidad y consistencia en las operaciones de soldadura en diversas industrias. El procedimiento de soldadura ha sido elaborado por la organización MULTISERVICE CHS S.R.L., que ha asignado al documento el número de identificación WPS-CHS-1-18 (Anexo 01). Este documento fue emitido el 18 de diciembre de 2018. La especificación está diseñada para el proceso de soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), también conocido como soldadura TIG, que se realizó de manera manual. La soldadura TIG es conocida por su precisión y calidad, y es comúnmente utilizada en la industria aeroespacial, en la fabricación de bicicletas, y en la construcción de tuberías de alta presión.

3.1.1.1. Diseño de Juntas (QW-402)

El diseño de la junta es crucial para asegurar una soldadura adecuada. En este caso, el documento especifica una junta a tope con soldadura de ranura en V. Las dimensiones de la junta incluyen una abertura de raíz que varía entre 3.2 mm y 4 mm, y un ángulo de ranura que debe estar entre 60° y 65°. La cara de la raíz se encuentra entre 0 mm y 2 mm. Es importante notar que, según el documento, un

cambio en el diseño de la ranura no constituye una variable esencial, lo que permite cierta flexibilidad en el diseño de las juntas de ranura, siempre y cuando se cumplan los requisitos especificados en los planos aplicables.

3.1.1.2. Metales Base (QW-403)

La selección del metal base es otro aspecto crítico del procedimiento de soldadura. En este WPS, los metales base utilizados deben cumplir con las especificaciones detalladas en las tablas QW/QB-422. Estos metales deben poseer las propiedades mecánicas y químicas adecuadas para asegurar la integridad de la soldadura. El documento establece un rango de espesores para los metales base: la ranura debe tener un espesor de entre 3.2 mm y 4.00 mm, y el espesor máximo de pase no debe exceder 1/2 pulgada (13 mm). Este control sobre los espesores es esencial para asegurar una penetración adecuada de la soldadura y evitar defectos como la falta de fusión.

3.1.1.3. Metales de Aporte (QW-404)

El metal de aporte utilizado en el proceso de soldadura GTAW debe cumplir con especificaciones estrictas para asegurar una unión de alta calidad. En este caso, se ha seleccionado el metal de aporte clasificado como ER70S-6 según la norma AWS. El tamaño del metal de aporte varía entre 2.4 mm y 3.2 mm, y se utilizó en forma de varilla sólida. Estas varillas sólidas proporcionan un material consistente y de alta calidad que es crucial para el proceso de soldadura. Además, se especifican otros parámetros, como la forma de producción del metal de aporte y los espesores depositados, tanto para ranuras como para filetes.

3.1.1.4. Posiciones de Soldadura y Precauciones (QW-405 y QW-406)

La soldadura puede realizarse en diversas posiciones, y cada posición puede afectar la técnica y el resultado final de la soldadura. Este documento especifica que la soldadura puede realizarse en todas las posiciones definidas por las figuras QW-461.3 a QW-461.6. Esto incluye posiciones como plana, horizontal, vertical y sobrecabeza. En cuanto a las temperaturas de precalentamiento, es crucial mantener una temperatura mínima de 10°C para asegurar que el metal base no esté demasiado frío, lo que podría provocar defectos como grietas. La temperatura máxima entre pasadas se establece en 80°C, y esta debe verificarse con pirómetros o tizas térmicas justo antes de iniciar el arco para cada pasada. Mantener estas temperaturas adecuadas durante la soldadura es esencial para evitar problemas como la distorsión térmica y las tensiones residuales en el metal soldado.

3.1.1.5. Tratamiento Térmico Post-Soldadura (QW-407)

El tratamiento térmico post soldadura es un proceso adicional que puede ser necesario para ciertos tipos de soldadura y materiales. Este documento especifica los parámetros para el tratamiento térmico, aunque no se detalla en este extracto. Generalmente, este tratamiento puede incluir el calentamiento controlado del metal soldado para aliviar tensiones, reducir la dureza y mejorar la ductilidad. Este proceso es especialmente importante en soldaduras críticas que estuvieron sujetas a condiciones de servicio severas.

3.1.1.6. Uso de Gas de Protección (QW-408)

En el proceso GTAW, el uso de gas de protección es esencial para evitar la contaminación de la soldadura por el aire. El documento especifica el uso de gas de protección con una pureza mínima de 99.997%, y un flujo de gas entre 19 y 30 litros

por minuto. El gas de protección, típicamente argón o una mezcla de gases inertes, se utiliza para proteger el electrodo de tungsteno y el charco de soldadura del oxígeno y nitrógeno en el aire, lo cual puede causar defectos en la soldadura como porosidad y oxidación.

3.1.1.7. Características Eléctricas (QW-409)

Las características eléctricas del proceso de soldadura también están detalladas en el documento. Se especifica el uso de corriente continua con electrodo negativo (CC/EN) y se proporciona un rango de amperaje y voltaje que varía según el tamaño del metal de aporte y la posición de la soldadura. Por ejemplo, para una varilla de 2.4 mm, se recomienda un amperaje entre 90 y 110 A y un voltaje entre 8 y 12 V. Además, se menciona el uso de un electrodo de tungsteno con clasificación AWS A 5.12 EWTh-2, que es un tipo de electrodo tungsteno-torio, conocido por su buena estabilidad de arco y capacidad de manejo de alta corriente.

3.1.1.8. Técnica de Soldadura (QW-410)

La técnica de soldadura detallada en el documento incluye varios aspectos críticos para asegurar la calidad de la soldadura. Se especifica que la soldadura debe realizarse en múltiples pasadas, según sea necesario, y que se debe utilizar una técnica de oscilación transversal con un máximo de 6 mm. La limpieza entre pasadas es otro aspecto crucial; se debe realizar mediante amolado con disco de corte y disco de desbaste, asegurando que las superficies a soldar estén libres de impurezas como óxidos, pintura o polvo. Esta limpieza es esencial para evitar defectos en la soldadura y asegurar una buena fusión entre el metal base y el metal de aporte. El uso de grapas de alineación tipo abrazadera y su método de remoción

mecánica es importante para asegurar que las piezas a soldar se mantengan en la posición correcta durante el proceso de soldadura. Además, se menciona la extensión del electrodo de tungsteno (12 mm) y la distancia aproximada de la tobera cerámica a la pieza de trabajo, que es crucial para mantener la estabilidad del arco y proteger el charco de soldadura.

3.1.2. Planos del diseño de las piezas

Para la implementación de las tuberías se diseñaron las piezas teniendo en cuenta las especificaciones mencionadas en el Anexo 01, a partir de las cuales se diseñaron los planos a continuación.

Figura 3

Mapa de tuberías reemplazadas

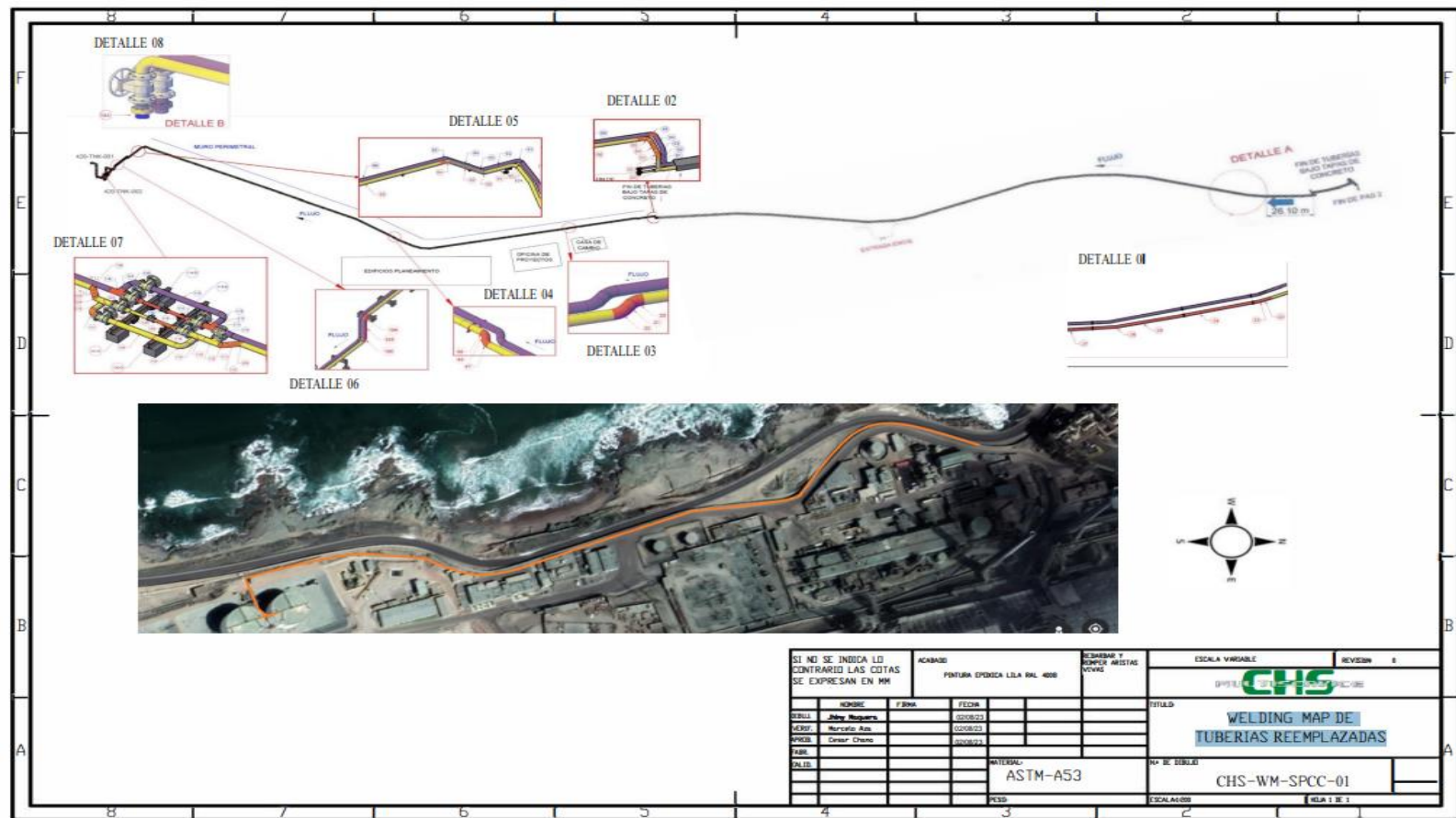


Figura 4

Mapa del detalle 01

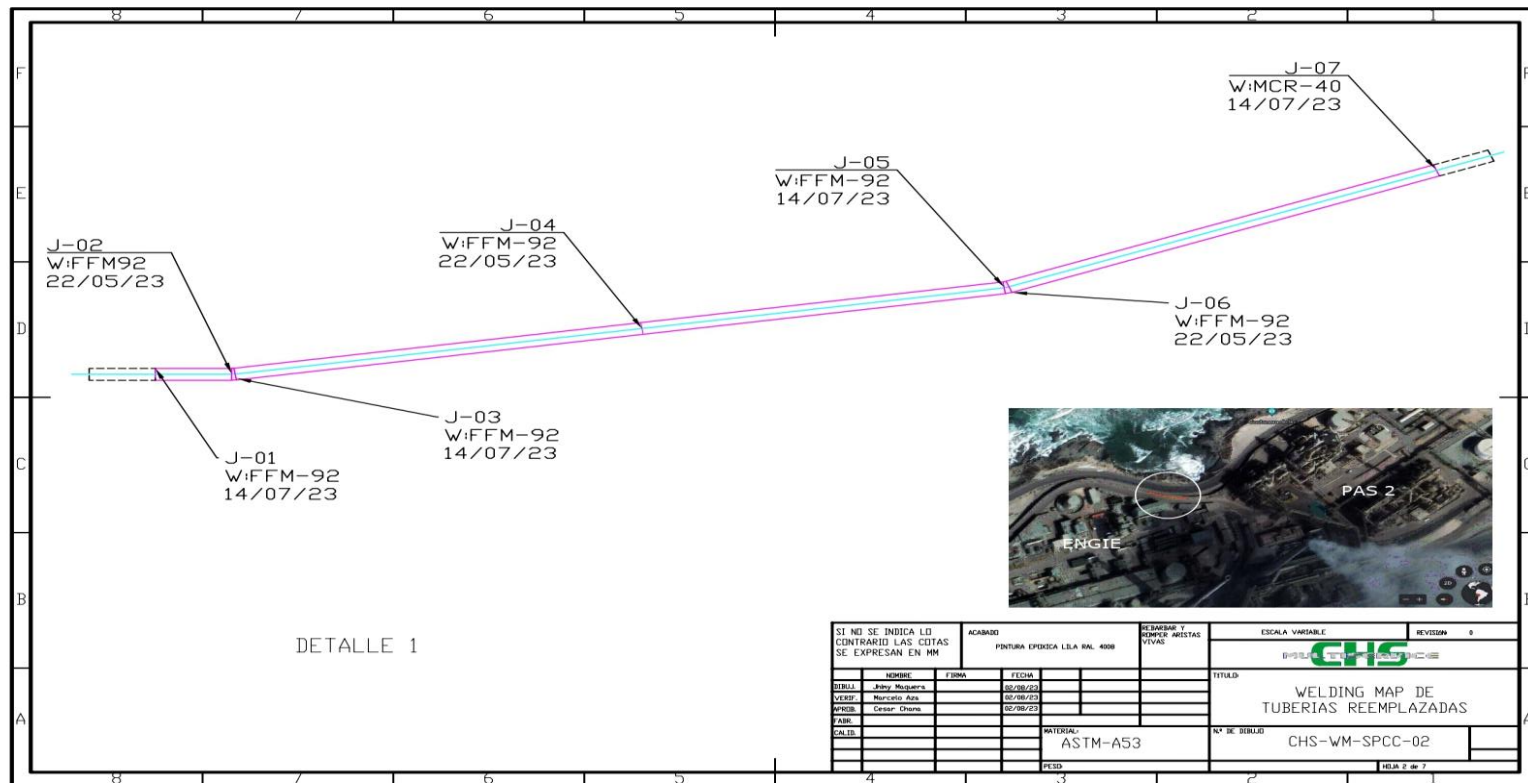


Figura 5

Mapa del detalle 02

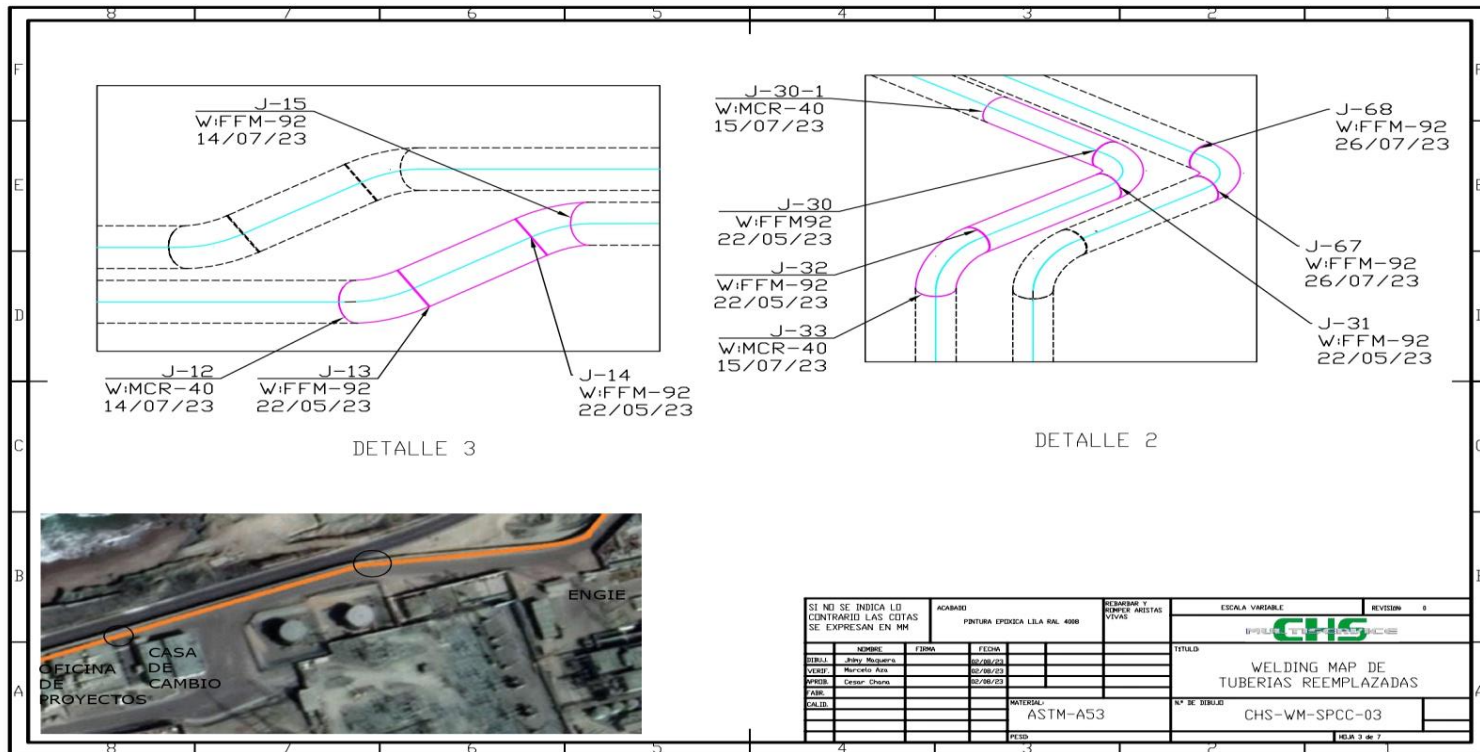


Figura 6

Mapa del detalle 03

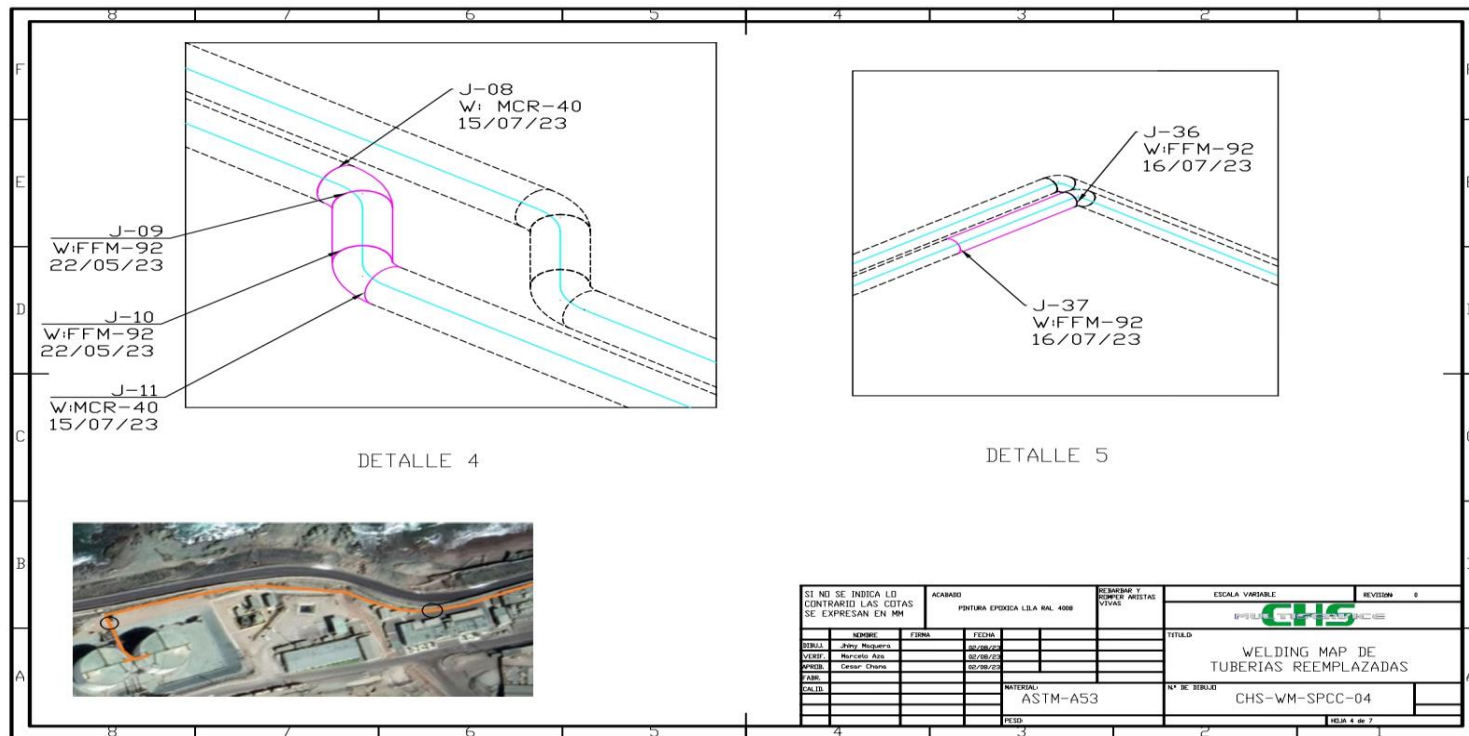


Figura 7

Mapa del detalle 04

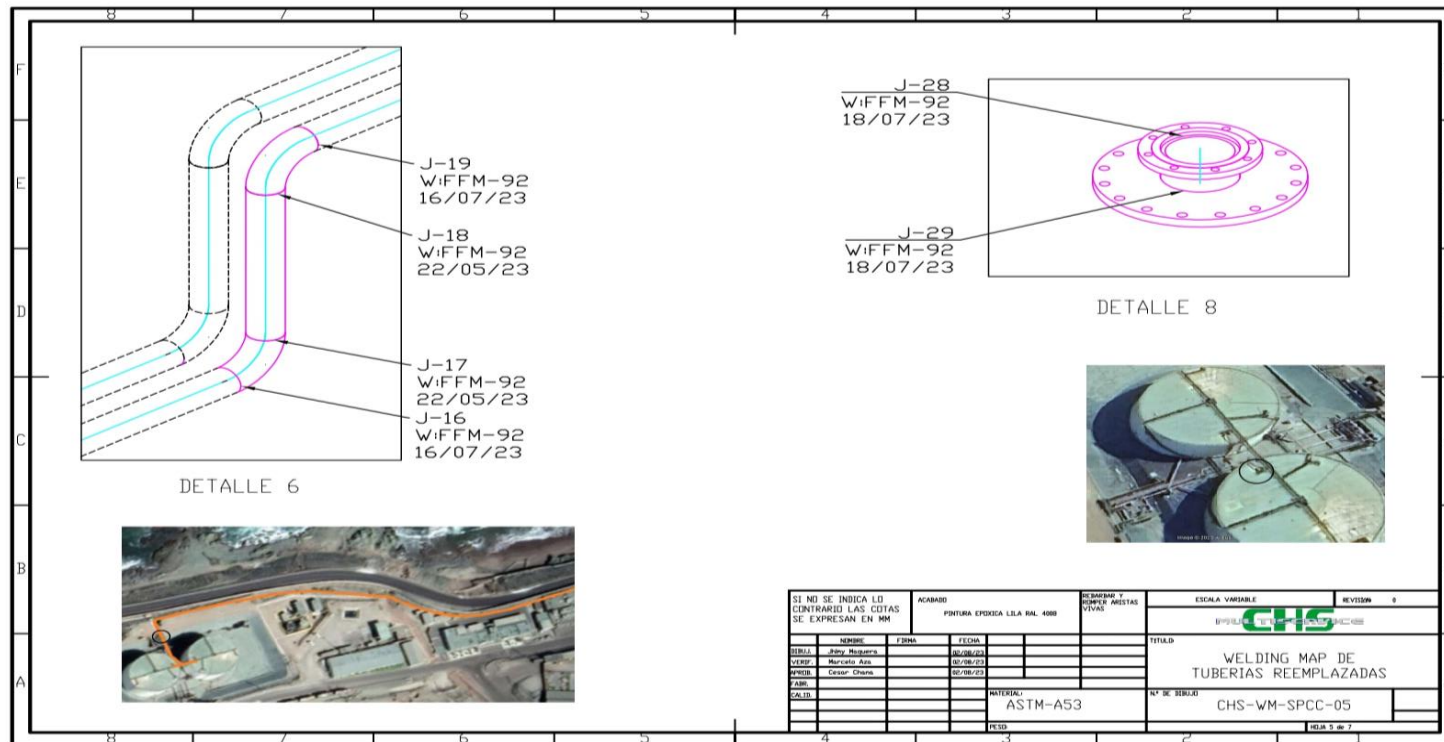


Figura 8

Mapa del detalle 05

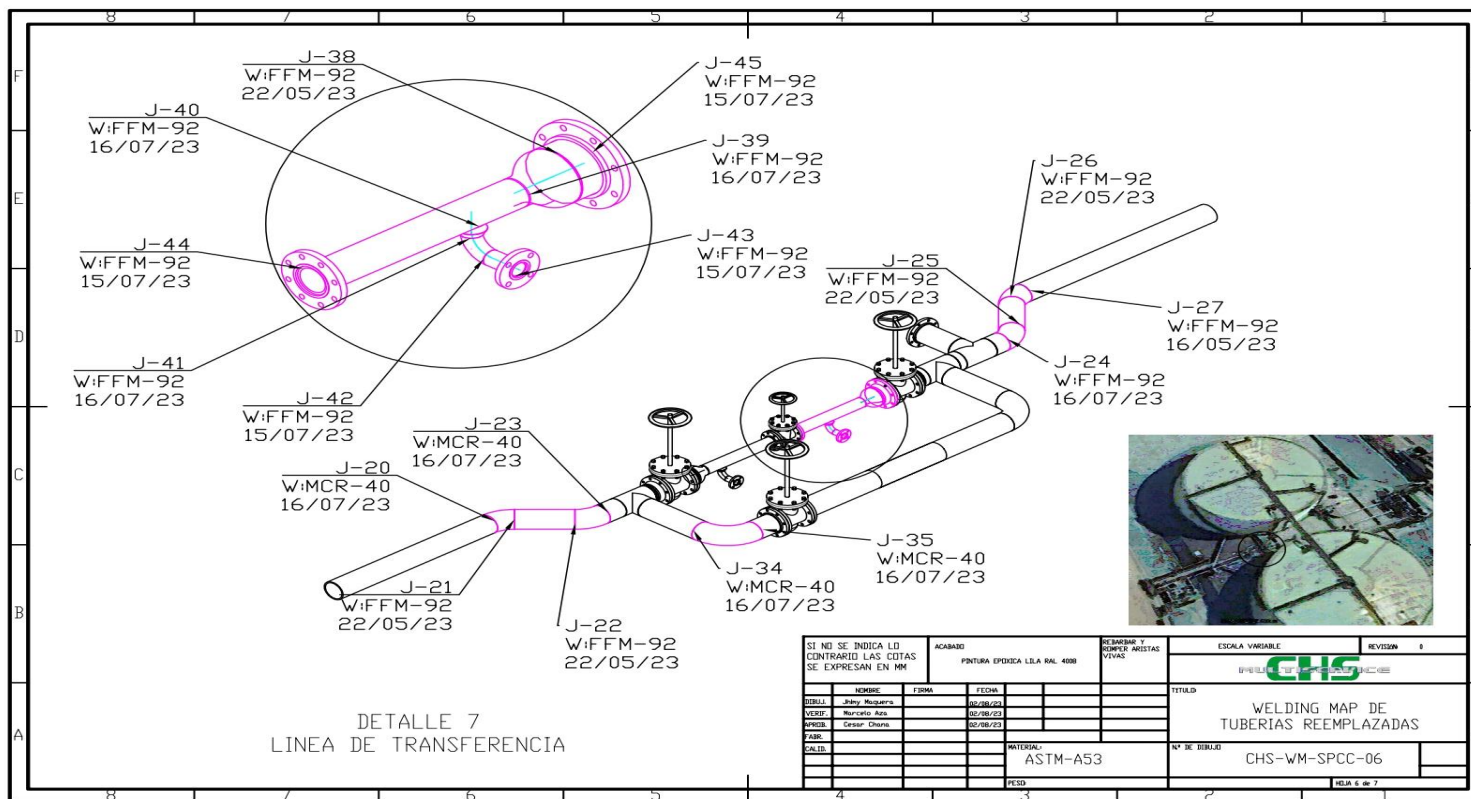
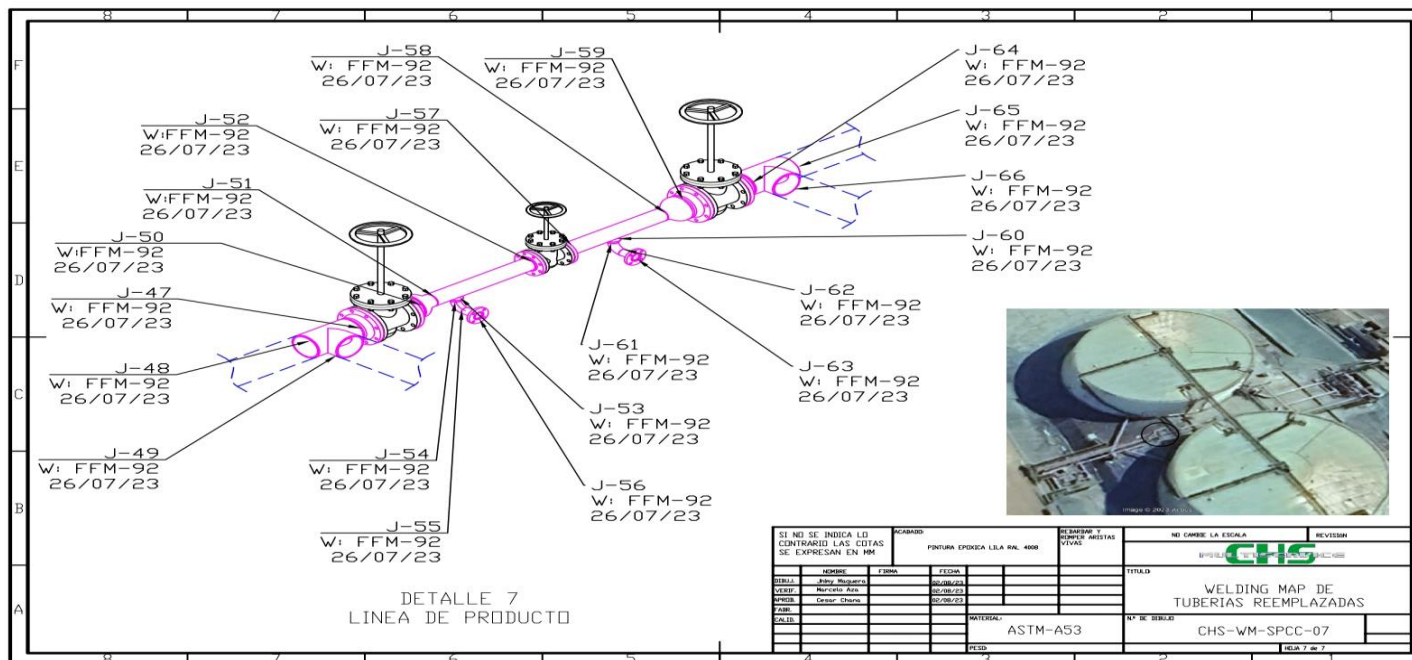


Figura 9

Mapa del detalle 06



3.1.2. Cálculos empleados

Para realizar los cálculos del rediseño del sistema de tuberías de acero al carbono para mitigar las fugas de ácido en el área 420 de la fundición de Ilo, se tiene que tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 1

Características del rediseño

Material	ASTM A53 Grado B sin costura
Diámetro	8"
Schedule	80
Presión máxima	700 PSI
Temperatura máxima	800 °F
Fluido transportado	Ácido sulfúrico al 98%
Estándar de construcción	ASME B31.3
Velocidad de fluido	1.87 m/s
Caudal de fluido	0.06 m ³ /s

En primer lugar, se halla el diámetro de la tubería para corroborar y validar los datos.

$$D = \sqrt{\frac{4R}{\pi V}}$$

Ecuación 1

En donde D es el diámetro, R es el caudal y v es la velocidad.

$$D = \sqrt{\frac{4(0.06)}{\pi (1.87)}}$$

$$D = 0.20 \text{ m} \cong 8''$$

En segundo lugar, se procede a calcular el espesor de la tubería, corroborando que es Seh80. El diseño y cálculo se desarrolló según la norma B31.3. En donde P es la presión interna del diseño, D es el diámetro de la tubería, S es el esfuerzo permitido, EE es el factor de eficiencia de la junta, Y es el coeficiente y W es el factor de reducción de la soldadura a elevada temperatura.

Para el cálculo de espesor de la pared total se utiliza la siguiente formula:

$$t_m = t + c \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el cálculo del espesor de tubería se emplea la siguiente fórmula:

$$t = \frac{8}{7} \left[\frac{PD}{2(SE + PY)} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

A su vez para el cálculo de la tolerancia mecánica se utiliza la formula a continuación. En donde C1 es el sobre espesor por corrosión y C2 es la profundidad de la rosca.

$$C = C1 + C2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Reemplazando los datos de la tabla en la fórmula del espesor de la tubería tenemos:

$$t = \frac{8}{7} \left[\frac{(700)(1.1)(8.75)}{2(11400 \times 1 + 700 \times 0.4)} \right]$$

$$t = 0.329''$$

Ahora reemplazando en la fórmula de la tolerancia mecánica, tenemos lo siguiente:

$$C = 0.125 + 0$$

$$C = 0.125''$$

Y finalmente reemplazando en la fórmula para el cálculo de espesor de la pared total tenemos lo siguiente:

$$t_m = 0.329 + 0.125$$

$$t_m = 0.454'' \cong 11.53 \text{ mm}$$

Comprobando así que los espesores de la tabla son correctos.

3.2. Desarrollo de experiencias.

3.2.1. Inspección de juntas soldadas

Se llevó a cabo una inspección exhaustiva de las tuberías de 8 pulgadas, específicamente enfocada en las uniones soldadas. Esta inspección formaba parte del proyecto de cambios, reparación y pintado de sectores de tuberías de transferencia y almacenamiento de ácido sulfúrico en las áreas 410 (Planta de Ácido 2) y 420 (Almacenamiento de Ácido) de una fundición. El objetivo de esta inspección era asegurar que todas las uniones soldadas cumplieran con los estándares de calidad y seguridad establecidos por las normativas pertinentes. La empresa encargada de la inspección, Multiservice CHS S.R.L., identificó el informe bajo el número UT-PA-001-2023, y se llevó a cabo en su taller ubicado en Ilo. El procedimiento de inspección

seguido fue el CPI-P-UTPA-01-2022, el cual establece las directrices y métodos específicos para la evaluación mediante ultrasonido phased array (UT-PA).

Para llevar a cabo la inspección, se utilizó un equipo especializado de la marca Sonatest, modelo Prisma 16:64. El sensor empleado, un Sonatest PE-5,0M32E0.8P, operaba a una frecuencia de 5 MHz y con un pitch de 0.8 mm. El software utilizado para analizar los datos recogidos fue el UT Studio versión 3.9.7, que permitió una evaluación detallada y precisa de las soldaduras. Las condiciones de la inspección fueron estrictamente controladas para garantizar resultados precisos y fiables. El criterio de aceptación se basó en la norma ASME B 31.3, una normativa reconocida internacionalmente para el diseño y fabricación de sistemas de tuberías. Las tuberías inspeccionadas estaban fabricadas en acero A53, un material conocido por su resistencia y durabilidad, y eran parte de la línea de ácido de la planta. Estas tuberías tenían un diámetro exterior de 8 pulgadas y un espesor nominal de 12.7 mm, características que las hacen adecuadas para manejar sustancias corrosivas como el ácido sulfúrico. El proceso de soldadura utilizado fue el GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), un método que ofrece soldaduras de alta calidad y precisión. La técnica de inspección empleada, el ultrasonido phased array (UT-PA), permite una visualización detallada del interior de las soldaduras, detectando posibles defectos o discontinuidades. La inspección se realizó manualmente, con escaneos dirigidos en sentido horario y empleando glicerina como acoplante para mejorar la transmisión de las ondas ultrasónicas.

Las juntas soldadas inspeccionadas fueron identificadas con códigos específicos, tales como J-02, J-04 y J-26, entre otras. Cada una de estas juntas fue evaluada meticulosamente, y los resultados indicaron que todas cumplían con los criterios de aceptación establecidos por la normativa ASME B 31.3. Esto significa que no se encontraron defectos significativos que pudieran comprometer la integridad de las soldaduras o la seguridad operativa de las tuberías. En cuanto a la clasificación de indicaciones, el informe proporciona una leyenda detallada que describe las distintas categorías de indicaciones detectadas durante la inspección. Estas incluyen, entre otras, indicaciones lineales superficiales abiertas al diámetro interno (LS ID), indicaciones lineales superficiales abiertas al diámetro externo (LS OD), indicaciones lineales internas (LB), así como penetración incompleta (IP), inclusión de escoria alargada aislada (ISI), fusión incompleta (IF), y porosidad (P). Esta clasificación es esencial para interpretar los resultados de la inspección y determinar la acción correctiva necesaria en caso de detectar algún defecto.

3.2.2. Inspección visual y dimensional

La inspección visual es el proceso de examinar la superficie de un componente o estructura para identificar defectos visibles. Este método es uno de los más básicos y se utiliza ampliamente debido a su simplicidad y eficacia en la detección de problemas superficiales. La inspección dimensional es el proceso de medir las dimensiones físicas de un componente o estructura para asegurar que cumpla con las especificaciones de diseño. Esta técnica es fundamental para garantizar que las piezas encajen correctamente en ensamblajes y funcionen según lo previsto. Tanto en la inspección

visual como dimensional después de realizar la implementación de las tuberías nuevas se tuvo un resultado óptimo como se puede visualizar en el Anexo 02 y Anexo 03.

3.2.3. Inspección de ultrasonido por arreglo de fases

La inspección sobre tuberías de 8 pulgadas de diámetro, específicamente aquellas con un espesor Schedule 80, utilizando técnicas avanzadas de ultrasonido por arreglo de fases (UTPA). Este informe es una parte crucial de un proyecto mayor que involucra el cambio, reparación y pintado de tuberías en las líneas de transferencia y almacenamiento de ácido sulfúrico (H₂SO₄) en las áreas 410 y 420 de la fundición de ILO. El principal objetivo de esta inspección fue garantizar que las tuberías cumplieran con los estrictos estándares de seguridad y funcionamiento óptimo establecidos por las normativas aplicables. La empresa utilizó un equipo de ultrasonido de la marca SIUI, modelo SyncScan 2, equipado con un transductor de 5.0 MHz. La técnica empleada fue la de pulso-eco, ejecutada mediante un barrido paralelo y utilizando un acoplante UT-X/FE Powder. Las tuberías inspeccionadas estaban fabricadas en acero A53, con un diámetro de 8 pulgadas y un espesor de 12.7 mm.

El proceso de inspección siguió los lineamientos del código ASME B31.3-2018 y el procedimiento NDTECH-P-UT-004 (Anexo 04). Las discontinuidades detectadas se clasificaron meticulosamente, incluyendo fisuras (crack), fusión incompleta (incomplete fusion), penetración incompleta (incomplete penetration) y otras indicaciones que superaban los niveles de referencia aceptables. Cada resultado de la inspección se documentó con precisión, indicando las posiciones exactas, profundidades y longitudes de las discontinuidades encontradas. Además, se

incluyeron registros fotográficos y esquemas detallados de las áreas inspeccionadas, proporcionando una visualización clara y comprensible de los hallazgos.

El informe concluye con una evaluación general del estado de las tuberías inspeccionadas. Se determinó que varias secciones presentaban indicaciones que excedían los niveles de referencia permitidos, lo cual sugiere la necesidad de reparaciones específicas para asegurar la integridad y funcionalidad de las tuberías. Estas conclusiones y recomendaciones fueron validadas y firmadas por el ingeniero Juan Luis Surco Alzamora, un inspector certificado en técnicas de inspección visual (VT), penetrantes (PT), partículas magnéticas (MT) y ultrasonido (UT). Además, el informe fue supervisado y aceptado por los representantes del cliente, MULTISERVICE CHS S.R.L. Este tipo de inspección y su correspondiente informe son fundamentales para el mantenimiento y aseguramiento de la calidad en instalaciones industriales. La integridad de las tuberías es crítica para la operación segura y eficiente de los procesos industriales. La utilización de ultrasonido por arreglo de fases permite detectar y evaluar defectos internos sin destruir el material, proporcionando una herramienta poderosa para el mantenimiento preventivo y correctivo.

Los equipos utilizados, como el SIUI SyncScan 2, facilitan la realización de escaneos precisos con presentaciones A-SCAN y S-SCAN, lo cual es esencial para detectar discontinuidades en el material. La técnica de pulso-eco y el barrido paralelo aseguran una cobertura completa y detallada de las tuberías, identificando fallas potenciales en áreas críticas. Las imágenes y esquemas incluidos en el informe

proporcionan una referencia visual clara de las áreas inspeccionadas y las discontinuidades detectadas. La clasificación precisa de las discontinuidades permite priorizar las reparaciones según la severidad de los defectos, optimizando los recursos y el tiempo en el proceso de mantenimiento. Este tipo de informes es esencial para la gestión de activos en la industria, asegurando que las infraestructuras críticas se mantengan en condiciones óptimas, minimizando el riesgo de fallos catastróficos y mejorando la seguridad operativa. Implementar las recomendaciones del informe ayuda a prolongar la vida útil de las tuberías y a mantener la continuidad operativa sin interrupciones no planificadas. Finalmente, el informe concluye con la firma de aceptación del cliente, validando los hallazgos y las recomendaciones propuestas. Se establece un plan de acción para abordar las reparaciones necesarias y se programa una nueva inspección posterior a las reparaciones para asegurar que se han corregido todas las discontinuidades identificadas. En resumen, el informe de inspección de tuberías de 8 pulgadas, Schedule 80, proporciona una evaluación detallada y técnica del estado actual de las tuberías, utilizando metodologías avanzadas de ultrasonido por arreglo de fases, y ofreciendo recomendaciones específicas para el mantenimiento y reparación de las mismas. Esto asegura la seguridad y eficiencia de las operaciones industriales, garantizando que las tuberías puedan manejar de manera segura el ácido sulfúrico en las áreas críticas de la planta de fundición.

3.2.4. Uniones soldadas

Para cada unión soldada, se incluye la fecha en que se realizó la soldadura. Estas fechas varían entre mayo y julio de 2023. También se especifica el código del soldador

responsable de cada unión, siendo los códigos más comunes FFM-92 y MCR-40. La tabla indica el tipo de junta soldada, que puede ser de "TOPE" o "FILETE".

Tabla 2

Uniones soldadas

Item	Junta	Fecha de soldadura	Soldador	Tipo	Inspección visual	Inspección ultrasonido
1	J-01	14/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
2	J-02	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
3	J-03	14/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
4	J-04	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
5	J-05	14/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
6	J-06	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
7	J-07	14/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
8	J-08	15/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
9	J-09	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
10	J-10	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
11	J-11	15/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
12	J-12	14/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
13	J-13	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
14	J-14	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
15	J-15	14/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
16	J-16	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
17	J-17	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
18	J-18	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
19	J-19	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
20	J-20	16/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
21	J-21	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
22	J-22	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
23	J-23	16/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
24	J-24	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
25	J-25	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
26	J-26	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
27	J-27	16/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
28	J-28	18/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
29	J-29	18/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
30	J-30	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
31	J-30-1	15/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
32	J-31	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado

33	J-32	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
34	J-33	15/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
35	J-34	16/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
36	J-35	16/07/2023	MCR-40	Tope	Aprobado	Aprobado
37	J-36	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
38	J-37	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
39	J-38	22/05/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
40	J-39	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
41	J-40	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
42	J-41	16/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
43	J-42	15/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
44	J-43	15/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
45	J-44	15/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
46	J-45	15/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
47	J-47	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
48	J-48	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
49	J-49	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
50	J-50	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
51	J-51	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
52	J-52	26/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
53	J-53	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
54	J-54	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
55	J-55	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
56	J-56	26/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
57	J-57	26/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
58	J-58	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
59	J-59	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
60	J-60	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
61	J-61	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Weldolet
62	J-62	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
63	J-63	26/07/2023	FFM-92	Filete	Aprobado	-
64	J-64	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
65	J-65	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
66	J-66	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
67	J-67	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado
68	J-68	26/07/2023	FFM-92	Tope	Aprobado	Aprobado

Todas las uniones fueron sometidas a una inspección visual y aprobadas, lo que garantiza que cumplen con los estándares de calidad visual requeridos. Además de la inspección visual, la mayoría de las uniones también pasaron una inspección por ultrasonido, con resultados igualmente satisfactorios, marcados como "APROBADO".

Sin embargo, algunas uniones, especialmente las de tipo "FILETE" y aquellas marcadas con el término "WELDOLET", no fueron sometidas a inspección por ultrasonido, como se indica con un guión en lugar de una aprobación.

CONCLUSIONES

Primera. La implementación del rediseño del sistema de tuberías de acero al carbono en el área 420 de la Fundición de Ilo resultó en una notable reducción de las fugas de ácido, esto se logró mediante la sustitución de tuberías deterioradas por materiales más resistentes a la corrosión, lo que no solo mitigó las fugas sino también mejoró la seguridad operativa en la planta.

Segunda. Se eligieron materiales de alta resistencia y se aplicaron recubrimientos especializados para las nuevas tuberías, lo que aumentó significativamente la durabilidad del sistema, estos materiales, probados por su resistencia a la corrosión ácida, garantizaron una mayor vida útil del sistema y una reducción en la frecuencia de las intervenciones de mantenimiento necesarias.

Tercera. Al reducir las fugas de ácido, el rediseño del sistema de tuberías mejoró las condiciones de seguridad para el personal y minimizó los riesgos ambientales, esto fue posible gracias a la implementación de controles rigurosos de calidad y a la capacitación del personal en procedimientos de seguridad y mantenimiento adecuados.

Cuarta. La optimización del uso de recursos humanos, materiales y financieros se logró mediante una planificación detallada y una ejecución controlada del proyecto. Esta optimización permitió no solo reducir los costos operativos, sino

también asegurar una ejecución eficiente del proyecto, lo cual resultó en una mayor productividad y una disminución de los tiempos de inactividad.

Quinta. El rediseño del sistema de tuberías cumplió con todas las normativas de seguridad, medio ambiente y estándares de calidad industriales, este cumplimiento aseguró que la nueva configuración del sistema no solo fuera más segura y eficiente, sino que también facilitó las tareas de mantenimiento y reparación, estableciendo procedimientos y controles de calidad más rigurosos y una documentación detallada y actualizada de todas las actividades y modificaciones realizadas.

RECOMENDACIONES

Primera. Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo continuo de las tuberías utilizando tecnologías avanzadas como sensores de corrosión y equipos de ultrasonido en línea, esto permitirá detectar de manera temprana cualquier deterioro en las tuberías y planificar intervenciones de mantenimiento preventivo antes de que se presenten fallos críticos.

Segunda. Es crucial invertir en la capacitación y certificación continua del personal encargado de la inspección y mantenimiento de las tuberías, programas de formación especializados en técnicas de inspección no destructiva (NDT) y manejo seguro de ácidos contribuirán a mejorar la precisión de las inspecciones y la seguridad en el lugar de trabajo.

Tercera. Se recomienda revisar y optimizar el diseño de las tuberías para minimizar puntos críticos de corrosión y mejorar el flujo de los ácidos, esto podría incluir la incorporación de recubrimientos internos resistentes a la corrosión y el uso de materiales alternativos como aleaciones especiales que ofrezcan mayor resistencia a los ácidos fuertes utilizados en la planta.

Cuarta. Desarrollar y documentar un plan de mantenimiento integral que incluya inspecciones periódicas, reemplazo de componentes críticos y análisis de fallas, este plan debe ser revisado y actualizado regularmente para adaptarse a las condiciones operativas y los hallazgos de las inspecciones.

Quinta. Se recomienda establecer colaboraciones con expertos y consultores externos en el área de la inspección y mantenimiento de tuberías, estos profesionales pueden proporcionar una perspectiva independiente y sugerencias basadas en las mejores prácticas de la industria, además de ayudar en la implementación de nuevas tecnologías y metodologías de inspección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gadagi, A., & Adake, C. (2022). Investigations of the effect of heat pipes on the temperature reduction and fatigue life of the components in the turning of high carbon high chromium steels. *Materialstoday: Pcededings*, 59, 392-396.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221478532107379X>
- Guo, M., Gao, Z., Song, J., Liu, Z., Wu, Z., Lv, C., & Hu, W. (2024). The effect of coordinated deformation on the microstructure and corrosion performance of 316L stainless steel/20# carbon steel composite pipes during hot compression. *Materials Letters*, 377.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X24015143>
- Indra, M., Madhavarao, S., Bhadriraju, R., Kumar, A., & Ravi, P. (2022). The effect of carbon fiber powder reinforced composite coating on mechanical properties of TIG welded black steel pipes. *Materialstoday: Proceedings*, 62.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322024907>
- Kim, S., Chang, S., Park, D., & Jeon, B. (2020). Failure criteria of a carbon steel pipe elbow for low-cycle fatigue using the damage index. *Thin-Walled Structures*, 153.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823120306789>
- Li, X., & Zhu, Z. (2022). Nonlinear dynamic characteristics of a cracked steel pipe wound by carbon fiber reinforced composite. *Materials Letters*, 306.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X2101586X>

- Mazeedi, H., Wakaa, B., & Ravindranath, K. (2021). Window-type rupture of carbon steel pipe in a hydroprocessing plant of a petroleum refinery due to ammonium bisulfide corrosion. *Engineering Failure Analysis*, 120. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630720316137>
- Rajamurugan, G., Suresh, S., & Krishnadamy, P. (2021). Influence of local post-weld heat treatment and its thermal analysis on thick wall carbon steel pipe. *Materialstoday: Proceedings*, 46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320376343>
- Rezvani, M., Mohammadian, M., Moreau, C., & McDonald, A. (2020). Fabrication of thermally sprayed coating systems for mitigation of ice accumulation in carbon steel pipes and prevention of pipe bursting. *Surface and Coatings Technology*, 397. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897220306824>
- Sahu, M., Gupta, S., Singh, P., Kumar, S., Saravanan, M., Vishnuvardhan, S., Ramachandra, A., & Parivallal, S. (2024). Fracture investigation at 300oC on carbon-steel and austenitic stainless-steel pipes of NPPs under cyclic loads. *Procedia Structural Integrity*, 60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245232162400489X>
- Saravanan, M., Vishnuvardhan, S., Gandhi, P., Roghava, G., Khan, I., Bhasin, V., & Chattopadhyay, J. (2020). Fracture studies on carbon steel straight pipes having off-centred circumferential through-wall crack under finite compliance. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 182. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308016120300557>

- Seshu, A., Abdul, S., Rajinikanth, V., Pahari, S., & Ravi, B. (2021). Evaluation of bond interface characteristics of rotary friction welded carbon steel to low alloy steel pipe joints. *Materials Science and Engineering: A*, 824. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509321011102>
- Yeob, D., & Liang, J. (2023). Effects of temperature on fatigue crack growth rates of a low-carbon pipe steel in the ductile and ductile-to-brittle transition regions. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 3(4). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667143323000318>
- Zhang, Y., Bao, E., & Chen, Y. (2024). Research on enhancement of low yield point steel pipes by fiber composite materials. *Structures*, 65. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012424009330>