

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
CONDICIÓN SOPORTADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS, PARA
PREVENIR FALLA EN REPARACIONES MECÁNICAS CONTENEDORAS DE
PRESIÓN DE SISTEMA DE TUBERIAS PARA TRANSPORTE DE
HIDROCARBUROS.

JOSE EDUARDO CARRASCAL BASTIDAS



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
CONDICIÓN SOPORTADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS, PARA
PREVENIR FALLA EN REPARACIONES MECÁNICAS CONTENEDORAS DE
PRESIÓN DE SISTEMA DE TUBERIAS PARA TRANSPORTE DE
HIDROCARBUROS.

JOSE EDUARDO CARRASCAL BASTIDAS

Monografía presentada como requisito
para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

GUILLERMO LEONARDO VARGAS BELLO
Magíster en Metalurgia y Ciencia de Materiales



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A Dios porque gracias a Él todo fue posible

A mi esposa

A mi madre

A mi padre

A mi hermano

A mi director de proyecto

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	13
1 PRESENTACION DEL PROBLEMA	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo General	14
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 MARCO TEÓRICO	15
1.3.1 Reparaciones mecánicas en sistemas de tubería.....	15
1.3.2 Mantenimiento Basado En Condición	18
1.3.3 Ensayos no destructivos	19
2 DISEÑO METODOLÓGICO	20
2.1 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	20
2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	21
2.2.1 Análisis de falla camisa tipo B.....	21
2.2.2 Objetivos análisis de fallas.....	21
2.2.3 Glosario de términos y abreviaturas.....	22
2.2.4 Diseño experimental	23
2.2.5 Caracterización muestra para análisis de fallas	24
2.2.6 Diagnóstico de falla.....	47

2.3	PLAN DE ACCIÓN.....	48
2.3.1	Reparaciones mecánicas con probabilidad de falla	48
2.3.2	Inspección camisas en servicio.....	48
2.3.3	Reparación camisa tipo B en servicio	49
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
3.1	CONCLUSIONES	50
3.1.1	Caracterización de materiales.....	50
3.1.2	Diagnóstico de daño	50
3.2	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFIA.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de una camisa tipo B -----	17
Figura 2. Detalle de una camisa tipo puente o sobre anillos -----	18
Figura 3. Camisa tipo B para análisis de fallas -----	21
Figura 4. Diseño experimental para desarrollo del análisis de Falla camisa tipo B23	
Figura 5. Estado superficial de la sección de tubería recibida para análisis a) cordón longitudinal con anomalía (cordón 1) y b) cordón longitudinal a 180° de anomalía (cordón 2). -----	24
Figura 6. Depresiones superficiales en la cara del cordón -----	25
Figura 7. Dimensiones de sección de tubería recibida para análisis a.) longitud de tubería, b.) diámetro y c.) espesor de camisa -----	26
Figura 8. a) Superficie interna de la camisa en el cordón longitudinal 1 con anomalía identificada, b) zona con mayor abertura en la raíz y c) zona de menor abertura. -----	27
Figura 9. Superficie interna de la camisa en el cordón longitudinal 2, opuesta a la anomalía identificada, b) zona con mayor abertura en la raíz y c) zona con abertura en la raíz abertura. -----	28
Figura 10. Indicaciones obtenidas mediante líquidos penetrantes -----	29
Figura 11. Indicaciones obtenidas mediante partículas magnéticas -----	31
Figura 12. Ubicación e identificación de muestras extraídas -----	32
Figura 13. Especificación de API 5L para selección de muestras -----	32

Figura 14. Identificación de muestras para caracterización química y metalográfica -----	34
Figura 15. Imágenes metalográficas de ferrita y perlita a) 200X, b) 500X-----	35
Figura 16. Imágenes metalográficas de ferrita y perlita a) 200X y b) 500X -----	36
Figura 17. Identificación de muestras para ensayo de tensión-----	38
Figura 18. Identificación de muestras para ensayo de impacto charpy -----	41
Figura 19. Propagación transversal de la grieta -----	43
Figura 20. Superficie de fractura sección 3 -----	45
Figura 21. Superficie de fractura sección 4 -----	45
Figura 22. Superficie de fractura sección 5 -----	45
Figura 23. Esquema del perfil de micro durezas en la sección transversal -----	46
Figura 24. Perfil de Micro dureza -----	46
Figura 25. Ilustración de falta de penetración en soldadura longitudinal mediante ultrasonido. -----	49
Figura 26. Ilustración de soldadura longitudinal de camisa tipo B sin indicaciones -----	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de composición química.....	34
Tabla 2. Resultados de Micro dureza	37
Tabla 3. Resultados de ensayo de tensión muestra T1	38
Tabla 4. Resultados de ensayo de tensión muestra T2	39
Tabla 5. Resultados de ensayo de tensión muestra T3	40
Tabla 6. Resultados de ensayo de tensión muestra T4	40
Tabla 7. Resultados de tenacidad obtenidos mediante prueba de impacto charpy	42
Tabla 8. resultados de composición química metal de aporte	47

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN SOPORTADO EN TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS, PARA PREVENIR FALLA EN REPARACIONES MECÁNICAS CONTENEDORAS DE PRESIÓN DE SISTEMA DE TUBERIAS PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS**

AUTOR: JOSE EDUARDO CARRASCAL BASTIDAS††

PALABRAS CLAVE: TUBERÍA, CONDICIÓN, CAMISA TIPO B

DESCRPCIÓN

El presente documento corresponde al análisis de falla de una soldadura longitudinal, presente en una camisa tipo B ubicada en un sistema de transporte de hidrocarburos, para este análisis se realizaron ensayos no destructivos y destructivos como; de Inspección visual, Inspecciones por líquidos penetrantes (PT), partículas magnéticas (MT) radiografía (RT), además de espectrometría de emisión óptica, análisis metalográfico, Micro dureza Vickers, tensión a temperatura ambiente y ensayo de impacto Charpy.

De los resultados obtenidos se resaltan los siguientes aspectos:

- El material de la tubería cumple con las especificaciones químicas y mecánicas establecidas en API 5L para un acero PSL2 grado X56, mientras el material de la camisa corresponde a un acero X65.
- La junta soldada presentó una disminución del 56.52% en la tenacidad, respecto a la tenacidad del cuerpo de la camisa.
- La junta soldada presenta una falta de penetración que en algunas zonas alcanza el 44,46% del espesor de pared de la camisa, lo que genero la falla.
- La falta de penetración genera una discontinuidad con zonas de ángulo agudo entre el metal de aporte y la cara del bisel, que actúan como concentradores de tensiones, facilitando la incubación de fisuras.
- La falta de penetración genera una disminución en el área efectiva de la junta soldada reduciendo su resistencia, lo que se evidencia en las pruebas de tensión y de impacto charpy.

Se implementa una estrategia de mantenimiento basada en condición soportada en el análisis de fallas para prevenir futuras fallas similares en las camisas tipo B en servicio del sistema de transporte de hidrocarburos.

** Trabajo de grado. Implementación de un plan de mantenimiento basado en condición soportado en técnicas no destructivas, para prevenir falla en reparaciones mecánicas contenedoras de presión de sistema de tuberías para transporte de hidrocarburos

†† Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Director Guillermo Leonardo Vargas Bello Magíster en Metalurgia y Ciencia de Materiales

SUMMARY

TITLE: IMPLEMENTATION OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON CONDITION SUPPORTED IN NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES, TO PREVENT FAILURE IN PRESSURE-CONTAINING MECHANICAL REPAIRS OF THE PIPING SYSTEM FOR OIL TRANSPORT*.

AUTHOR: JOSE EDUARDO CARRASCAL BASTIDAS**

KEYWORDS: PIPING, CONDITION, SLEEVE (TYPE B)

DESCRIPTION:

This document corresponds to the failure analysis of a longitudinal weld, present in a sleeve (type B) located in a hydrocarbon transport system. For this analysis, non-destructive and destructive tests were carried out, such as; Visual Inspection, Penetrating Liquid Inspections (PT), Magnetic Particles (MT) Radiography (RT), plus Optical Emission Spectrometry, Metallographic Analysis, Vickers Micro Hardness, Tension at room temperature and Charpy impact test.

The following aspects stand out from the results obtained:

- The pipe material complies with the chemical and mechanical specifications established in API 5L for a PSL2 X56 grade steel, while the jacket material corresponds to an X65 steel.
- The welded joint showed a 56.52% decrease in toughness, compared to the toughness of the body of the sleeve.
- The welded joint has a lack of penetration that in some areas reaches 44.46% of the wall thickness of the jacket, which generated the failure.
- The lack of penetration generates a discontinuity with acute angle zones between the filler metal and the bevel face, which act as stress concentrators, facilitating the incubation of cracks.
- The lack of penetration generates a decrease in the effective area of the welded joint, reducing its resistance, which is evidenced in the stress and charpy impact tests.

* Degree work. Implementation of a maintenance plan based on condition supported by non-destructive techniques, to prevent failure in mechanical repairs containing pressure in the pipeline system for transporting hydrocarbons

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of mechanical engineering. Director Guillermo Leonardo Vargas Beautiful Master in Metallurgy and Materials Science

A condition-based maintenance strategy supported in the failure analysis is implemented to prevent future similar failures in sleeves (type B) in service of the hydrocarbon transport system.

INTRODUCCION

Ductos

Una tubería o cañería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza el termino oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas se utiliza el termino gasoducto y los poliductos están destinados al transporte de hidrocarburos o productos terminados.

Gasoductos

Son sistemas que sirven para transportar hidrocarburos en estado gaseoso, generalmente sus diámetros son grandes. Los gasoductos tienen carácter nacional e internacional.

Oleoductos

Es la tubería o conexión utilizada para transportar petróleo desde campos petroleros hasta las refinerías y centros de comercialización o terminales marítimas.

Poliductos

Redes de tuberías, destinadas al transporte de hidrocarburos o productos terminados. A diferencia del oleoducto que transporta solo petróleo crudo, el poliducto transporta variedad de combustibles procesados, como: keroseno, naftas, gas oíl, etc.

Estos sistemas de transporte de hidrocarburos requieren de reparaciones mecánicas contenedora de presión llamadas envolventes o camisas tipo B debidas a desgaste por servicio, mecanismos de daños asociadas al fluido que transportan, las fuerzas de la naturaleza, vandalismo, etc.

Este documento tratara temas asociados a fallas presentadas en este tipo de reparaciones, sus causas, al igual que las medidas correctivas para prevenirlas.

1 PRESENTACION DEL PROBLEMA

Pérdida de contención del sistema de tubería de transporte de hidrocarburos por falla en soldadura longitudinal de reparación mecánica existente camisa tipo B

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de tuberías para transporte de hidrocarburos cruzan gran parte del territorio nacional involucrando áreas de gran importancia conocidas zonas de alta consecuencia que son habitad de mucha flora y fauna indispensables para desarrollo y sostenibilidad de diferentes regiones. Una falla allí puede representar grandes daños al ambiente, pérdidas económicas considerables, mala imagen corporativa, daño en bien privado hasta pérdida de vidas humanas.

Los productos contenidos en estos sistemas de tuberías derivados del petróleo son de gran amenaza al entrar en contacto con ellos.

En el año 2018 se presentaron fallas en soldaduras longitudinales de dos reparaciones mecánicas existentes que alertaron de una condición fuera del estándar para este tipo de reparaciones, generando una problemática para la operación normal del sistema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Implementar de un plan de mantenimiento basado en condición soportado en técnicas no destructivas, para prevenir falla en reparaciones mecánicas contenedoras de presión de sistema de tuberías para transporte de hidrocarburos

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar análisis de fallas causa raíz para determinar las causas que originaron la falla en las reparaciones mecánicas existentes camisas tipo B en el sistema de transporte de hidrocarburos.
- Identificar las reparaciones mecánicas existentes en el sistema de tubería de transporte de hidrocarburos realizadas por el mismo personal que realizó las dos reparaciones que fallaron.
- Realizar inspección mediante ensayos no destructivos de las reparaciones mecánicas existentes identificadas para determinar la condición mecánica de sus soldaduras.
- Implementar el plan de mantenimiento para las reparaciones mecánicas existentes en el sistema con la condición determinada en el análisis de fallas.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Reparaciones mecánicas en sistemas de tubería

Mangas de cerco completo. Las reparaciones se pueden realizar mediante la instalación de un círculo completo soldado con mangas divididas. Las configuraciones de manga pueden ser una de las siguientes:

Configuración de manguito que no contiene presión (Tipo A). Para los manguitos divididos de cerramiento completo instalados para reparación solo por refuerzo y no por contención de presión interna, no se permite la soldadura circunferencial de los extremos. Los extremos de las mangas se extienden por el borde del defecto durante un mínimo de 2 pulg. (50 mm). Cuando se usa un manguito de refuerzo para defectos con una longitud menor que L, como se define en la siguiente

ecuación, el grosor del material del manguito puede ser un mínimo de dos tercios del del tubo portador. Para defectos con una longitud mayor que L, el material del manguito debe ser igual o mayor en grosor que el del tubo portador.

$$L = 20 \times \sqrt{D \times t}$$

D = Diámetro del tubo

t = Espesor de pared

Cuando se utiliza un manguito tipo A, se deben tomar medidas para evitar la migración de agua al espacio entre la tubería y el manguito. Se debe establecer una continuidad eléctrica entre la tubería y el manguito para proporcionar protección catódica. Las fundas tipo A no deben usarse para reparar defectos con fugas o defectos orientados circunferencialmente.

Se puede instalar un manguito tipo A de manera que reduzca la tensión del aro en el tubo portador. Los métodos para lograr esto incluyen la disminución de la presión antes de instalar el manguito, aplicando fuerza mecánica externa o precalentando el manguito de facilitación de un "ajuste por contracción".

Configuración de manguito que contiene presión (Tipo B). Los manguitos tipo B deben tener una presión de diseño no menor que la de la tubería que se está reparando. Las costuras longitudinales del manguito serán soldaduras a tope de penetración completa. Los extremos de las mangas se soldarán con filete a la tubería de la portadora utilizando un procedimiento de soldadura de bajo hidrógeno. Los extremos del manguito se extenderán más allá del borde del defecto por un mínimo de 2 pulgadas. (50 mm). Si la manga es más gruesa que la tubería que está siendo reparada, las circunferencias diferenciales deben achaflanarse (a aproximadamente 45 grados) hasta el grosor de la tubería o la longitud de la pierna del filete de soldadura en las puntas de las mangas no se debe permitir que exceda el grosor de la tubería portadora en más de 1/16 pulg. (1,6 mm). Además, la longitud de la pierna de la soldadura de filete en el extremo del manguito no debe ser menor

que el grosor del tubo transportador de 1/16 pulg. (1,6 mm). Se debe considerar especialmente para minimizar la concentración de tensión resultante de la reparación. Las mangas tipo B se pueden usar para defectos con fugas o sin fugas, incluidos defectos orientados circunferencialmente. Cuando se usan manguitos múltiples, un manguito Tipo B no debe terminarse dentro de la mitad del diámetro de una tubería de, o 4 pulgadas de una soldadura circunferencial, lo que sea mayor. La distancia entre los manguitos debe ser de al menos un diámetro de tubo. Los manguitos separados pueden estar separados sin un diámetro de tubo si están unidos por un manguito de puente soldado o se hacen continuos soldando a tope. Cuando se instala en un defecto sin fugas, se puede instalar un manguito Tipo B de manera que se reduzca la tensión del aro en el tubo portador. Los métodos para lograr esto incluyen reducir la presión antes de instalar el manguito, aplicar fuerza mecánica externa o precalentar el manguito para facilitar un "ajuste por contracción".

Las reparaciones mediante instalación de camisas tipo B son consideradas como reparaciones permanentes de contención de presión, debido a que este tipo de camisas incluye además de la soldadura longitudinal, soldadura de filete en los extremos.

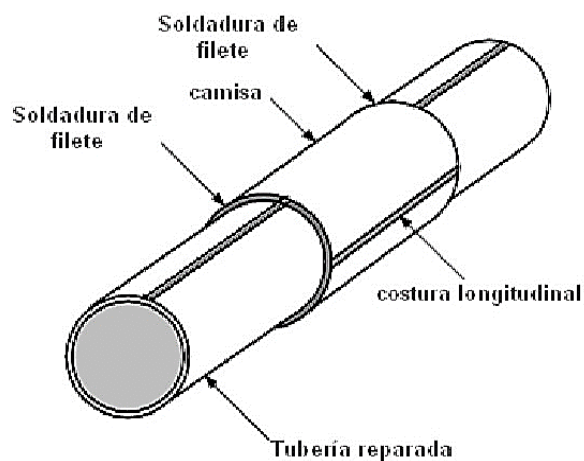


Figura 1. Detalle de una camisa tipo B

Este tipo de reparación permanente camisa tipo B es usado frecuentemente en la industria de petróleo y gas para reparar anomalías y defectos en sistemas de tuberías tales como; pérdida de material por corrosión externa, perdidas de material por daño mecánico, corrosión selectiva en soldadura longitudinal, grieta, punto duro, perforaciones ilícitas entre otras.

Se puede utilizar camisa tipo puente para reparar imperfecciones de forma irregular tales como abolladuras y cuando se requiera instalar camisas sobres parches o cascotas.

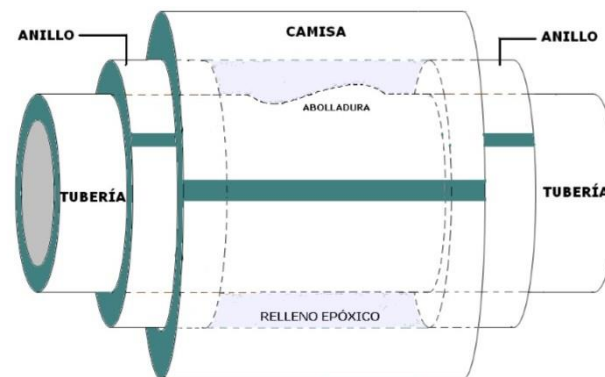


Figura 2. Detalle de una camisa tipo puente o sobre anillos

1.3.2 Mantenimiento Basado En Condición

la estrategia condicional, basada en el diagnóstico previo de los equipos, asume que no es posible determinar a priori vida útil de cada pieza, y que, por tanto, es más eficaz inspeccionar cada componente de la instalación por diferentes técnicas para decidir si vale la pena intervenir o no, y cuando es mejor hacerlo.

El diagnóstico utiliza diferentes técnicas (las inspecciones que lleva a cabo el personal de operación, las inspecciones detalladas por especialistas en mantenimiento, las observaciones y mediciones con equipos de diagnóstico fuera de línea, las observaciones y mediciones con equipos en línea) para determinar tanto las posibles degradaciones que estén sucediendo en cualquier punto de la

instalación como su evolución. La gravedad potencial del daño en caso de que se produzca, y la tendencia que presenta éste, son dos aspectos clave para decidir si merece la pena llevar a cabo una intervención o no.

1.3.3 Ensayos no destructivos

Inspección visual: El ensayo de inspección visual es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades que afectan a la superficie visualmente accesible de los objetos.

La inspección visual es el método no destructivo por excelencia, siendo su alcance de aplicación extremadamente extenso:

Identificar materiales respecto a su especificación y composición química.

Detección de imperfecciones y defectos producidos durante un proceso productivo.

La inspección visual no solo es importante como método de ensayo en sí mismo, sino que es esencial como ensayo previo y preliminar en la ejecución de cualquier otro. Ya que debe realizarse siempre, incluso cuando esté prevista la ejecución de otro tipo de ensayos. Bien ejecutado reduce la necesidad de END posteriores.

Partículas magnéticas: El ensayo por partículas magnéticas se basa en la aplicación de un campo magnético al componente objeto de estudio, de tal manera que, mediante la aplicación de un revelador en forma de partículas ferromagnéticas finamente divididas, seamos capaces de detectar discontinuidades superficiales y/o subsuperficiales en materiales magnéticos.

Ultrasonido: El método de inspección mediante ultrasonidos tiene como objetivo la detección de discontinuidades internas, en materiales metálicos y no metálicos. Es un método de inspección volumétrico.

Se basa en la emisión por parte de un transductor (palpador) de un haz, o un conjunto de ondas sonoras de alta frecuencia (mayor que la capacidad audible del

oído humano) que son introducidas en el material de ensayo para propagarse en él hasta localizar una heterogeneidad como consecuencia de la interfase de dos materiales diferentes, discontinuidades o defectos del material, que producirán fenómenos de reflexión, atenuación y difracción.

Grietas, laminaciones, poros, socavados, inclusiones y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente.

Existen otras técnicas no destructivas que se emplearon para el desarrollo de esta investigación.

2 DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la solución a la problemática identificada en este documento se tuvo en cuenta análisis de fallas causa raíz donde se estableció el origen de la falla en soldaduras longitudinales de dos reparaciones existentes contenedoras de presión, camisa tipo B.

2.1 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se estableció una condición fuera del estándar en las soldaduras longitudinales en las reparaciones mecánicas existente que fallaron en el análisis de fallas.

Se ejecutó un plan de inspección mediante ensayos no destructivos en las reparaciones mecánicas existentes en servicio realizadas por el mismo personal que instaló las reparaciones que fallaron.

Para las reparaciones en servicio que presentaron la condición fuera del estándar se están reparando mediante instalación de camisa sobre anillos tipo puente.

Se han reparado 50 camisas tipo B que han presentado condición fuera del estándar en las soldaduras longitudinales, mejorando la operación del sistema.

2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.2.1 Análisis de falla camisa tipo B



Figura 3. Camisa tipo B para análisis de fallas

En el estudio de análisis de Falla realizado al tramo de tubería de 14" de diámetro, proveniente del sistema de transporte de hidrocarburos, se busca identificar y caracterizar el defecto presente en una de las soldaduras longitudinales, estableciendo el mecanismo de daño, así como las posibles causas que lo generaron. Para esto se realiza la caracterización de propiedades químicas y mecánicas de los materiales involucrados en la junta soldada y se verifican con las especificaciones aplicables. Una vez obtenidos los resultados de laboratorio estos se relacionan con la información de la ficha técnica de del sistema suministrada por la empresa dueña la línea, determinando así, si las causas de falla corresponden a condiciones operacionales inadecuadas, o a procesos de fabricación e instalación inapropiados.

2.2.2 Objetivos análisis de fallas

Establecer las causas que generaron la falla en la soldadura longitudinal de la camisa proveniente del sistema

Determinar las propiedades químicas y mecánicas de la tubería y camisa proveniente del sistema

Identificar el mecanismo de propagación de grieta presente en la junta longitudinal de la camisa tipo B

2.2.3 Glosario de términos y abreviaturas

M1: Muestra extraída de la tubería para caracterización química y mecánica.

M2: Muestra extraída de la camisa para caracterización química y mecánica.

PSL: Nivel de especificación del producto.

T: Muestra para ensayo de tensión.

C: Muestra para prueba de impacto charpy.

HFW: Proceso de soldadura eléctrica de alta frecuencia para tuberías durante la fabricación.

END: Ensayos no destructivos.

Depresión: Zona del relieve superficial situada a una altura inferior que las regiones circundantes.

2.2.4 Diseño experimental

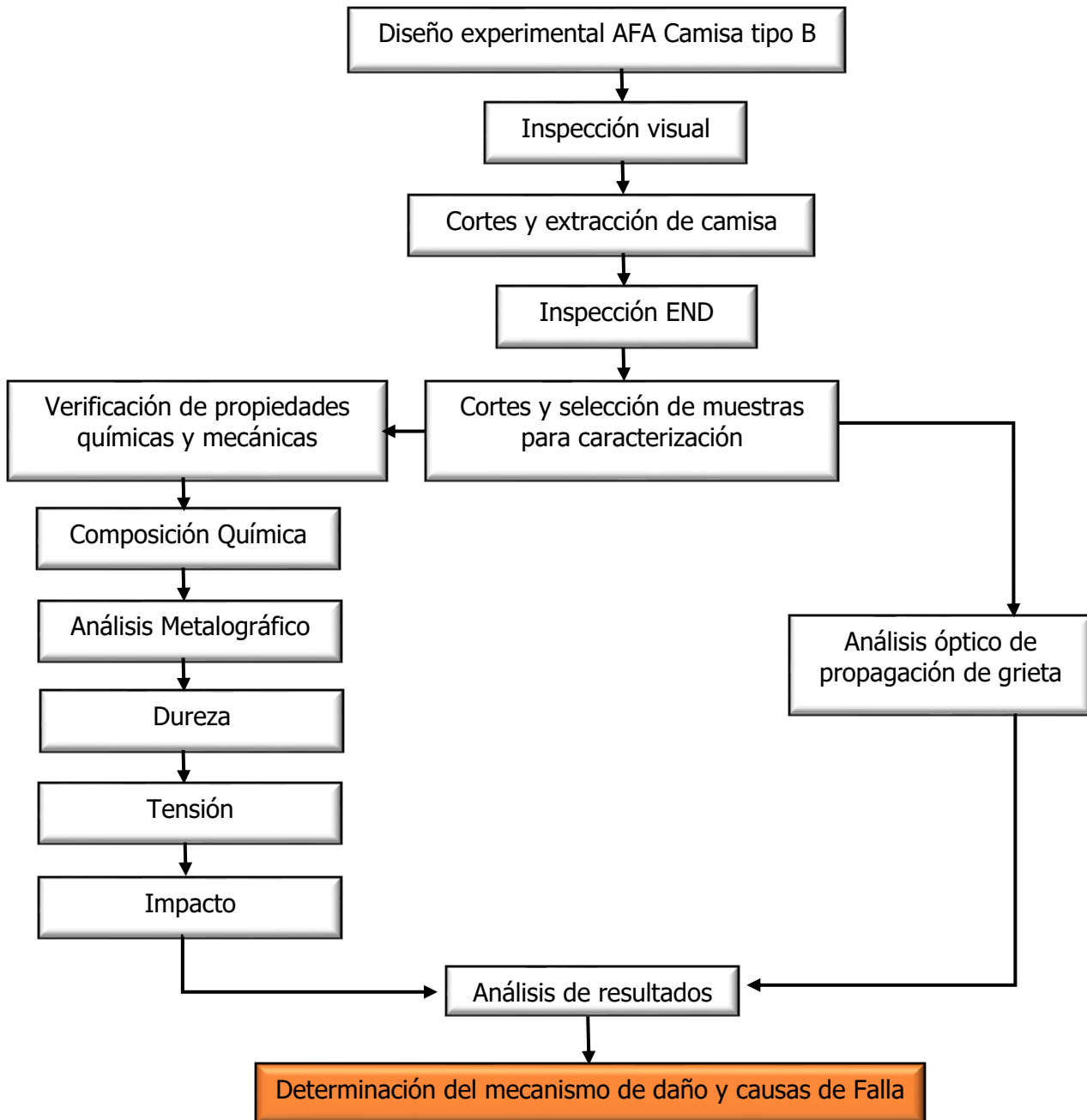


Figura 4. Diseño experimental para desarrollo del análisis de Falla camisa tipo B

2.2.5 Caracterización muestra para análisis de fallas

2.2.5.1 Inspección visual

Mediante la inspección visual se busca determinar principalmente características morfológicas a nivel macroscópico relacionadas con el modo de falla sobre la sección de tubería estudiada, así como la verificación dimensional de esta.

Dicha verificación se desarrolla en un ambiente donde la iluminación y humedad son controladas, empleando instrumentos de medición calibrados y equipos de apoyo que ofrecen alta resolución para la toma de imágenes.

2.2.5.1.1 Resultados y análisis



Figura 5. Estado superficial de la sección de tubería recibida para análisis a) cordón longitudinal con anomalía (cordón 1) y b) cordón longitudinal a 180° de anomalía (cordón 2).

Se observa la sección de tubería del sistema de transporte de hidrocarburos con presencia de una camisa tipo B, en cuya superficie se aprecian diferentes marcaciones, entre las cuales se destaca la dirección de flujo, el punto de referencia de la tubería, así como la ubicación y dimensión de la discontinuidad presente en el cordón de soldadura (cordón 1)

La superficie de la tubería presenta una coloración rojiza, producto de oxidación leve del material debido a su exposición a la humedad del ambiente.



Figura 6. Depresiones superficiales en la cara del cordón

En la cara del cordón de soldadura 1, justo en la zona en donde se encuentra la identificación y longitud de la anomalía, se evidencian gran cantidad de discontinuidades superficiales en el metal de aporte (depresiones del material), estas discontinuidades se encuentran “alineadas” de forma paralela al cordón de soldadura.

2.2.5.2 Análisis Dimensional

En el análisis dimensional se busca identificar aquellas zonas en donde existen variaciones en las piezas respecto a las especificaciones técnicas de estas, con el fin de establecer si dichas variaciones tienen o no influencia en la falla y si se generaron como consecuencia operacional o debido a efectos externos.

2.2.5.2.1 Resultados y análisis



Figura 7. Dimensiones de sección de tubería recibida para análisis a.) longitud de tubería, b.) diámetro y c.) espesor de camisa

El tramo de tubería proveniente del sistema de transporte de hidrocarburos posee una longitud total aproximada de 1000 mm, diámetro externo de 356 mm y espesor de pared de 8.65 mm, lo que permite clasificarlo como una tubería de 14" Schedule STD.

Por otra parte, en el tramo de tubería, se encuentra una camisa tipo B de 720 mm de longitud, con espesor de pared de 9.65 mm, la cual se encuentra en la zona central a 120 mm aproximadamente de los bordes del tramo de tubería base. Una vez retirada la camisa mediante cortes refrigerados, se tuvo acceso a la superficie interna de esta, donde se aprecia una falta de penetración en una las juntas

longitudinales, evidenciándose ausencia de lámina de respaldo, así mismo, se aprecia la inexistencia de material epóxico o polimérico entre la camisa y el tubo (Figura 8).

En la figura 8b, se aprecia la abertura máxima de la junta en la raíz, en donde la falta de penetración se hace más evidente, mientras que en la figura 8c se aprecia zona de menos abertura en la raíz.

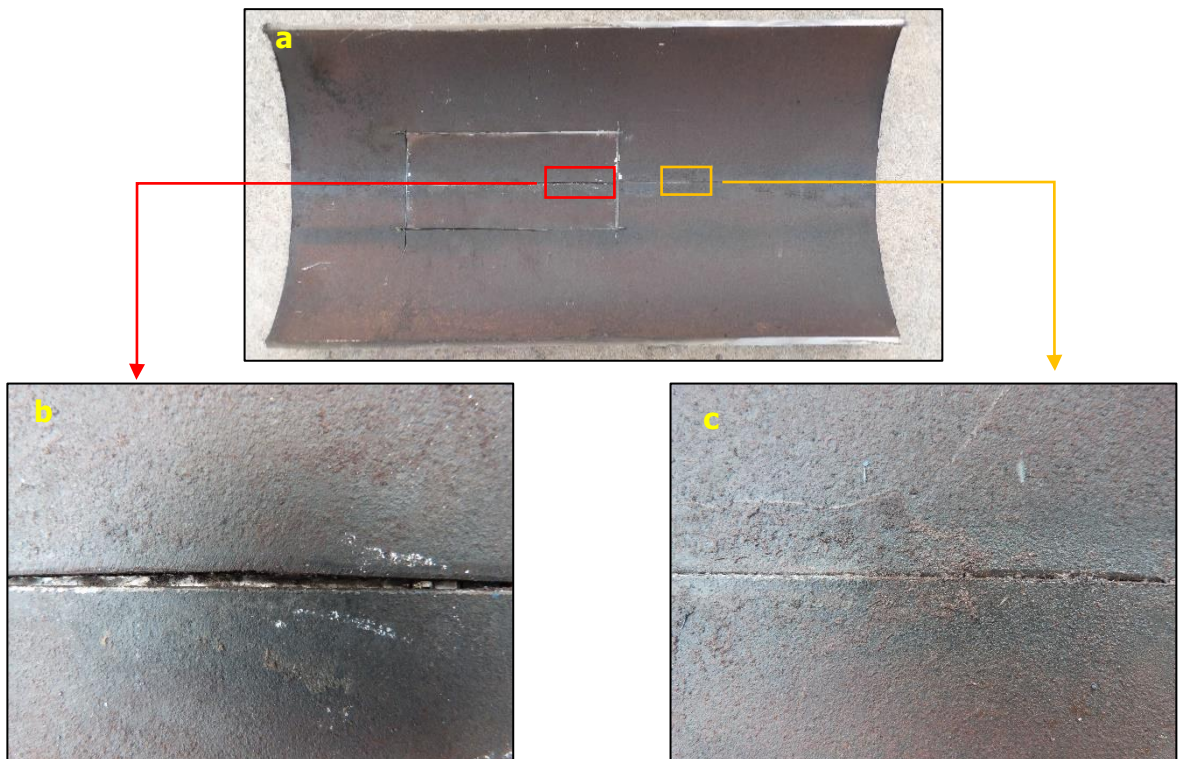


Figura 8. a) Superficie interna de la camisa en el cordón longitudinal 1 con anomalía identificada, b) zona con mayor abertura en la raíz y c) zona de menor abertura.

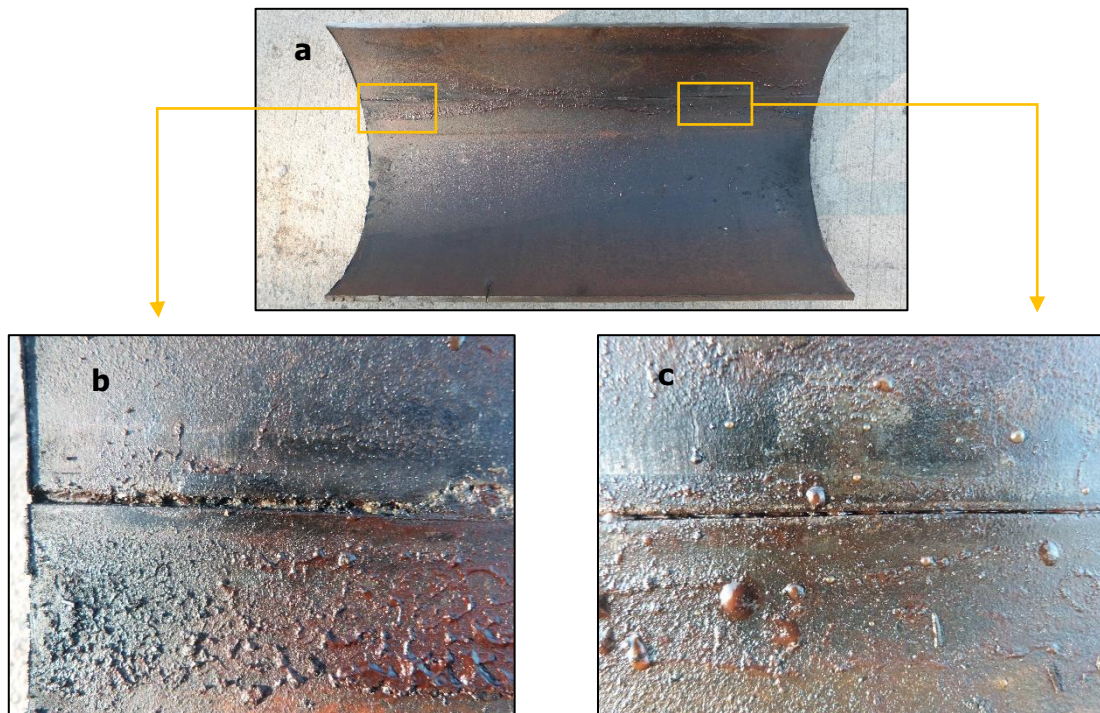


Figura 9. Superficie interna de la camisa en el cordón longitudinal 2, opuesta a la anomalía identificada, b) zona con mayor abertura en la raíz y c) zona con abertura en la raíz.

2.2.5.3 Líquidos Penetrantes

La inspección por líquidos penetrantes es una técnica no destructiva empleada para identificar discontinuidades abiertas a la superficie en una pieza sólida. Las indicaciones reportadas en presencia de grietas se generan independientemente del tamaño, configuración, composición microestructural y química de la pieza inspeccionada, como también de la orientación de la grieta.

Este tipo de ensayo consiste básicamente en la aplicación de un líquido de gran poder humectante sobre la superficie del material a ensayar, en donde forma una capa continua y uniforme; gracias al efecto de capilaridad, el fluido migra dentro de las cavidades abiertas a la superficie.

Este ensayo se realiza bajo las especificaciones técnicas de la norma ASTM E1417 – 16 “Standard Practice for Liquid Penetrant Testing”, por personal capacitado y certificado por la ASNT.

2.2.5.3.1 Resultados y análisis

Mediante la inspección por líquidos penetrantes se identificó una discontinuidad tipo grieta que se ubica en uno de los cordones longitudinales de la camisa instalada en la sección de tubería del sistema de transporte de hidrocarburos y posee una longitud de 158 mm (Figura 10).



Figura 10. Indicaciones obtenidas mediante líquidos penetrantes

Se observa como la grieta en uno de sus extremos se propaga en la superficie por el “pie” del cordón mientras que hacia el extremo contrario tiene una propagación por el centro de la cara de la soldadura, siempre en dirección paralela al cordón.

Mediante la aplicación del revelador y gracias al contraste generado con la superficie del material, se logran apreciar de manera clara las depresiones superficiales que se encuentran en la misma zona con presencia de grieta.

2.2.5.4 Partículas Magnéticas

La inspección por partículas magnéticas es una técnica no destructiva empleada en la identificación de discontinuidades superficiales y subsuperficiales, basada en la acumulación de polvos metálicos debido a los campos de fuga generados en dichas discontinuidades cuando son previamente magnetizadas.

La presencia de una discontinuidad se revela por la formación y adherencia de un arreglo característico de las partículas sobre la discontinuidad en la superficie de la pieza de trabajo. Este arreglo recibe el nombre de indicación y adquiere la forma aproximada de la proyección superficial de la discontinuidad.

Este ensayo se realiza bajo las especificaciones técnicas de la norma ASTM E1444 – 11 “Standard Practice for Magnetic Particle Testing”, por personal capacitado y certificado por la ASNT.

2.2.5.4.1 Resultados y análisis

Mediante la inspección por partículas magnéticas se identificó de manera clara y definida la longitud total de propagación superficial de la grieta, así como su morfología (Figura 11).

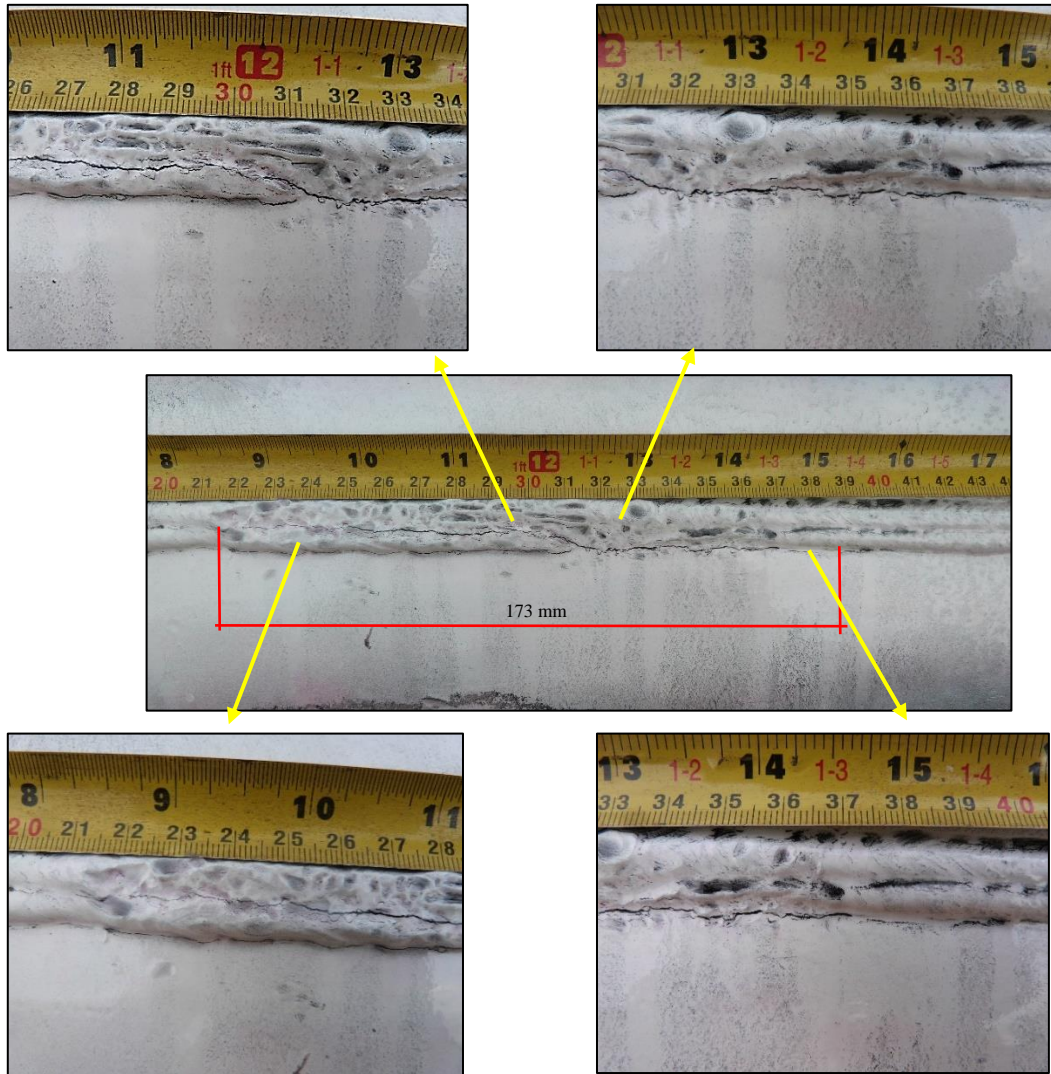


Figura 11. Indicaciones obtenidas mediante partículas magnéticas

Se observa como la grieta se propaga a través del “pie” del cordón de soldadura en una longitud aproximada de 52 mm, y posteriormente atraviesa el metal de aporte por la zona central del cordón, siempre en dirección paralela a la soldadura con una longitud total de la grieta en la superficie de 173 mm.

2.2.5.5 Caracterización de materiales

Con el fin de determinar las propiedades químicas y mecánicas del material de la sección de tubería, se extrajeron 15 muestras las cuales fueron analizadas mediante diferentes ensayos. La selección y ubicación de cada una de las muestras se realiza con base en las especificaciones de API 5L (Figura 13) y en función de la determinación del mecanismo de daño.

La ubicación de las muestras se observa en la Figura 12.

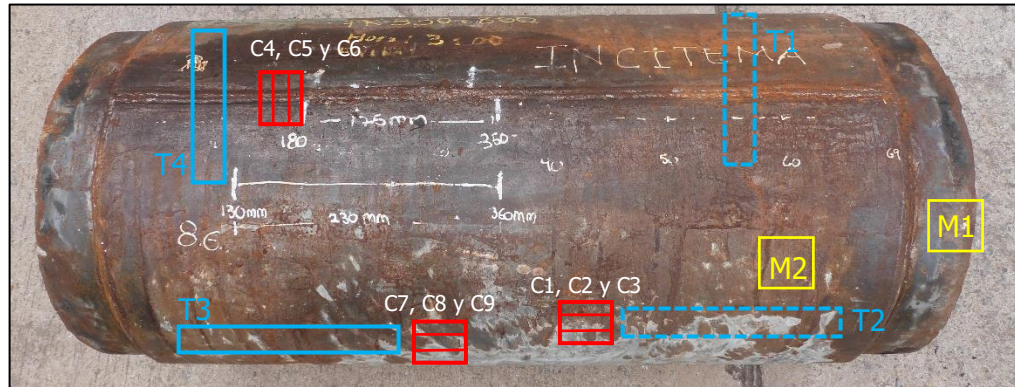


Figura 12. Ubicación e identificación de muestras extraídas

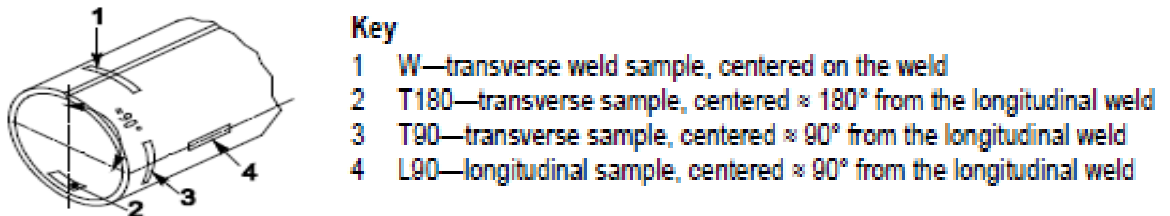


Figura 13. Especificación de API 5L para selección de muestras

Las muestras fueron identificadas de la siguiente manera:

Tubería

M1: Muestra para composición química, metalografía y Micro dureza.

T1: Muestra para tensión soldadura de costura.

T2: Muestras para tensión cuerpo de la tubería.

C1, C2 y C3: Muestras para prueba de impacto.

Camisa

M2: Muestra para composición química, metalografía y Microdureza.

T3: Muestra para tensión cuerpo de camisa.

T4: Muestra para tensión soldadura longitudinal.

C4, C5 y C6: Muestras para prueba de impacto, soldadura longitudinal.

C7, C8 y C9: Muestras para prueba de impacto cuerpo de camisa.

2.2.5.6 Composición Química

Los elementos que componen el material de la tubería se determinan mediante espectrometría de emisión óptica, esta técnica se basa en la excitación de los átomos de la muestra mediante arco eléctrico, el cual se genera debido a la separación de los electrodos al hacer circular una corriente eléctrica. Los átomos excitados emiten una energía radiante, la cual se dispersa mediante un prisma de difracción o rejilla, obteniendo un espectro de luz que es característico de cada elemento.

Para el análisis cuantitativo la intensidad de radiación representa la concentración del elemento presente en la muestra, obteniendo como resultado el contenido porcentual en masa para cada elemento.

Este ensayo se realizó bajo las especificaciones técnicas de la norma ASTM E415 – 15 “Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry”.

2.2.5.6.1 Resultados y análisis

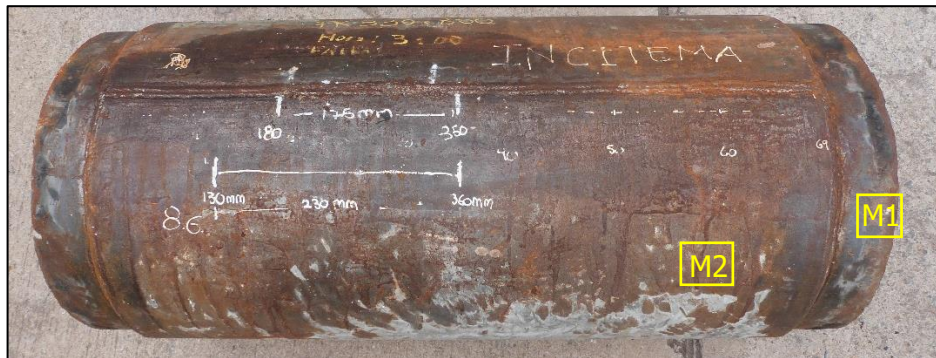


Figura 14. Identificación de muestras para caracterización química y metalográfica

Muestra	% C	%Si	%Mn	%Ni	%P	%Cr	%Nb+V+Ti	%Mo	%S
M1	0.0824	0.302	1.18	0.0271	0.0161	0.0804	0.0664	0.0064	0.0124
M2	0.0827	0.179	1.41	0.017	0.0155	0.0351	0.0553	0.005	0.0115
API 5L PSL2 Grado X56	0.22 máx.	0.45 máx.	1.40 máx.	0.30 máx.	0.025	0.30 máx.	0.15 máx.	0.15 máx.	0.015 máx.
API 5L PSL2 Grado X65	0.12 máx.	0.45 máx.	1.60 máx.	0.5 máx.	0.025 máx.	0.5 máx.	0.15 máx.	0.50 máx.	0.015 máx.

Tabla 1. Resultados de composición química

Los resultados de composición química obtenidos de las muestras “M1” y “M2” correspondientes a los materiales de la tubería y camisa respectivamente, cumplen con las especificaciones de API 5L para un acero PSL2 grado X56 y X65.

El material de la muestra “M1” reportó un valor de carbono equivalente de 0.16, mientras que el material de la muestra “M2” posee carbono equivalente de 0.18.

El alto contenido de manganeso evidenciado en los materiales analizados les brinda un aumento en la resistencia mecánica y la dureza, mientras que el bajo contenido

de azufre mejora el comportamiento de los materiales en cuanto a la tenacidad y resistencia evitando la formación de precipitados e inclusiones tipo sulfuro.

2.2.5.7 Análisis Metalográfico

El análisis metalográfico consiste en observar y determinar mediante microscopía óptica el tamaño de grano, forma y distribución de las fases y microconstituyentes, además de inclusiones no metálicas y precipitados de segunda fase, los cuales son componentes estructurales que tienen efecto sobre las propiedades mecánicas de los materiales; para esto el ensayo se realiza siguiendo las especificaciones de ASTM E3-01 "Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens".

Mediante el análisis metalográfico además de lo mencionado, se obtienen otros resultados de gran interés para el desarrollo del análisis de falla, como las características de propagación de grietas, medición de espesor de capas superficiales, identificación y caracterización de zonas afectadas térmicamente entre otros.

2.2.5.7.1 Resultados y análisis

2.2.5.7.1.1 Muestra M1 (Tubería)

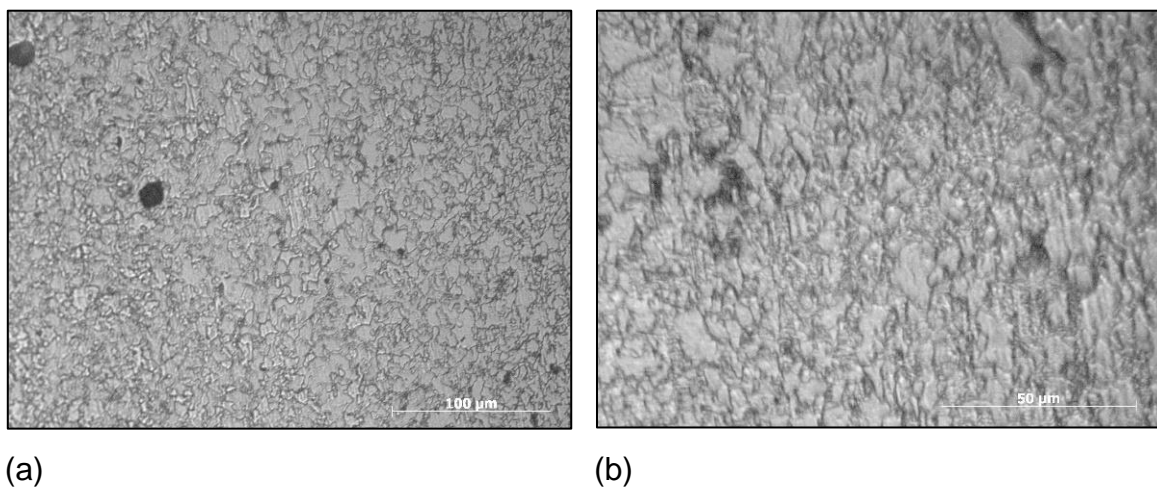


Figura 15. Imágenes metalográficas de ferrita y perlita a) 200X, b) 500X

La muestra "M1" reveló mediante ataque químico con solución ácida de Nital al 3% una microestructura compuesta por una matriz ferrítica de granos equiaxiales, con presencia de diminutos granos de perlita distribuidos aleatoriamente.

No se evidencia una orientación preferente en los granos, los cuales poseen de acuerdo con ASTM E 112 mediante método planimétrico, un tamaño de grano promedio de 11.

Se determinó los porcentajes de microconstituyentes y fases presentes en el acero, obteniendo que la ferrita corresponde al 94,21% y la perlita al 5,79%.

2.2.5.7.1.2 Muestra M2 (camisa)

No se aprecia ninguna orientación preferente de las fases presentes en el material de la muestra "M2", que corresponde a una matriz ferrítica con tamaño de grano promedio de 10 (ASTM E 112) y pequeños granos de perlita laminar distribuidos uniformemente.

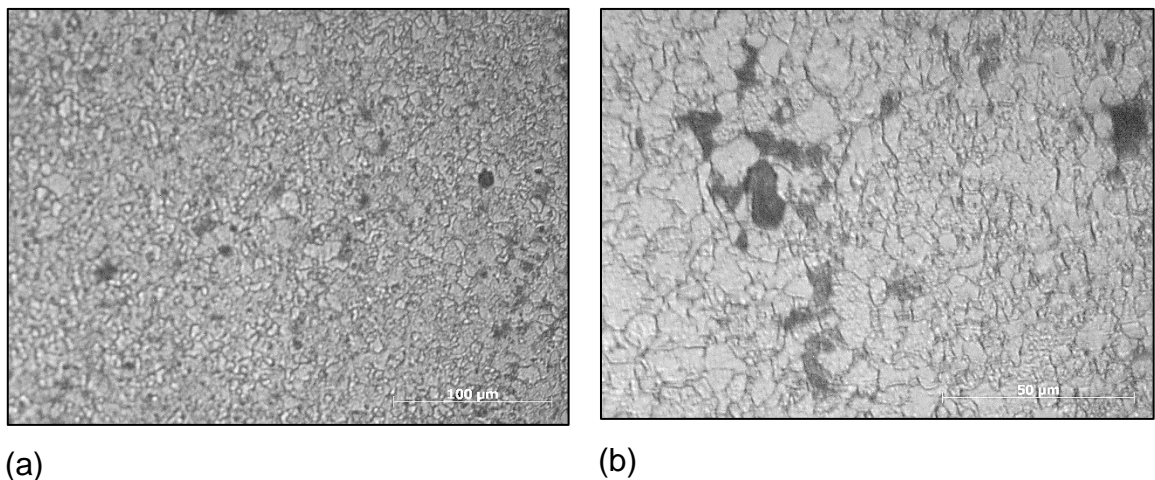


Figura 16. Imágenes metalográficas de ferrita y perlita a) 200X y b) 500X

Se determinaron los porcentajes de microconstituyentes y fases presentes en el acero, obteniendo que la perlita se encuentra en un 8,69% mientras que la ferrita corresponde al 91.31 %.

2.2.5.8 Micro dureza Vickers

El ensayo de dureza Vickers consiste en la aplicación de una carga constante, que varía entre 1gf y 1Kgf, empleando un indentador piramidal con ángulo base de 136°. La carga es sostenida por un tiempo específico (entre 15 y 30 segundos), requeridos para garantizar que el flujo plástico del material permanezca constante.

La medición de las diagonales se realiza mediante microscopía óptica bajo las especificaciones de ASTM E384 – 05 “Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials”.

2.2.5.8.1 Resultados y análisis

Muestra	Lecturas de Micro dureza Vickers								Promedio	Desviación
	1	2	3	4	5	6	7	8		
M1	200	204	207	214	206	210	204	205	206	4.23
M2	221	217	221	221	224	227	226	222	222	3.20

Tabla 2. Resultados de Micro dureza

Los valores de micro dureza promedio obtenidos en las muestras “M1” y “M2”, cumplen con las especificaciones de API 5L en donde se tiene como valor máximo aceptable 275 HV.

2.2.5.9 Ensayo de Tensión

El ensayo de tensión consiste en aplicar un esfuerzo axial de tracción, con velocidad de deformación constante a una probeta estandarizada hasta producir la rotura de esta. Mediante esta prueba se busca identificar diferentes características propias de cada material como la resistencia última, el límite de fluencia, módulo de elasticidad entre otros.

Este ensayo se realizó bajo las especificaciones técnicas de ASTM E8 - 16 “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”.



Figura 17. Identificación de muestras para ensayo de tensión

2.2.5.9.1 Resultados y análisis

RESULTADOS MUESTRA T1		
Gráfica carga – alargamiento	Propiedades	
	Esfuerzo último a tracción (MPa)	576.37
	Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	522.41
	Esfuerzo de rotura (Mpa)	311.18
	Fuerza Máxima (KN)	62.18
	Rt0.5/Rm	0.906
	% elongación	18.10
	% reducción de área	59.87
	Tipo de Fractura	Dúctil
Resistencia a tensión soldadura HFW API 5L X52		
490- 760 MPa		
(71100– 110200) psi		

Tabla 3. Resultados de ensayo de tensión muestra T1

RESULTADOS MUESTRA T2		
Gráfica carga – alargamiento	Propiedades	
	Esfuerzo último a tracción (MPa)	595.53
	Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	534.65
	Esfuerzo de rotura (Mpa)	391.04
	Fuerza Máxima (KN)	65.28
	Rt0.5/Rm	0.897
	% elongación	18.54
	% reducción de área	61.24
	Tipo de Fractura	Dúctil
Resistencia a la tracción API 5L X56	Resistencia a la Fluencia API 5L X56	% elongación min
490- 760 MPa (71100– 110200) psi	390 – 545 MPa (56600 – 79000) psi	18,00

Tabla 4. Resultados de ensayo de tensión muestra T2

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de tensión, realizado a las probetas extraídas del cuerpo de la tubería, permiten establecer que el material de este cumple con lo expuesto en la norma API 5L para un acero PSL 2 grado X56.

RESULTADOS MUESTRA T3			
Gráfica carga – alargamiento		Propiedades	
		Esfuerzo último a tracción (MPa)	554.42
		Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	497.31
		Esfuerzo de rotura (Mpa)	325.38
		Fuerza Máxima (KN)	67.22
		Rt0.5/Rm	0.897
		% elongación	19.47
		% reducción de área	61.24
Tipo de Fractura		Dúctil	
Resistencia a la tracción API 5L X65	Resistencia a la Fluencia API 5L X65	% elongación min	
535- 760 MPa (77600– 110200) psi	450 – 600 MPa (65300 – 87000) psi	18,00	

Tabla 5. Resultados de ensayo de tensión muestra T3

RESULTADOS MUESTRA T4			
Gráfica carga – alargamiento		Propiedades	
		Esfuerzo último a tracción (MPa)	424.87
		Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	393.18
		Esfuerzo de rotura (Mpa)	334.98
		Fuerza Máxima (KN)	51.52
		Rt0.5/Rm	0.925
		% elongación	15.55
		% reducción de área	59.57
Tipo de Fractura		Dúctil	
Resistencia a tensión soldadura HFW API 5L X65			
535- 760 MPa (77600– 110200) psi			

Tabla 6. Resultados de ensayo de tensión muestra T4

Los resultados obtenidos del material de la camisa permiten clasificarlo bajo las especificaciones de API 5L como un acero grado X65, cumpliéndose así el requisito de ser el acero de la camisa de un grado mayor al de la tubería, sin embargo, al contrastar los resultados obtenidos se observa que la resistencia del material de la camisa es inferior al de la tubería.

La muestra identificada como "T4" tomada transversalmente del cordón de soldadura longitudinal de la camisa, tuvo un comportamiento inferior al presentado por el cuerpo de esta, haciéndose evidente una disminución en su resistencia debido a la falta de material, producto de la falta de penetración evidenciada en la inspección visual

2.2.5.10 Ensayo de Impacto

El ensayo de Impacto Charpy consiste en romper de un golpe dado con un péndulo, una muestra rectangular entallada, tras la ruptura el péndulo continúa su camino hasta llegar a cierta altura a partir de la cual se determina la energía absorbida por la muestra, obteniendo así la tenacidad del material.

El ensayo de impacto tipo Charpy se realizó bajo las especificaciones técnicas de la norma ASTM E23 – 07 "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials", empleando muestras con ranura en V y temperatura de 20°C. ANEXO 7.

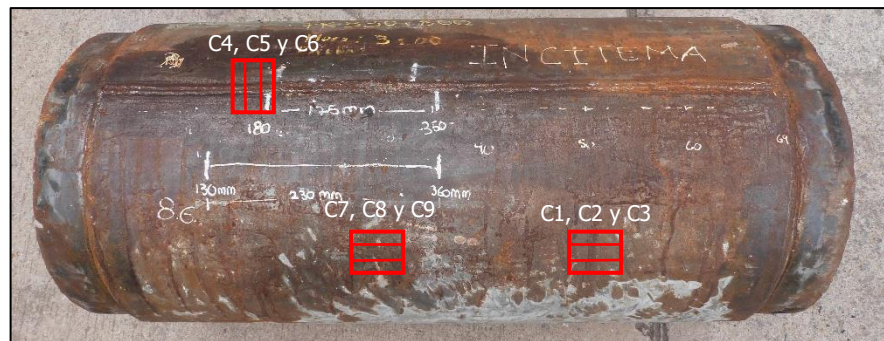


Figura 18. Identificación de muestras para ensayo de impacto charpy

2.2.5.10.1 Resultados y análisis

Sección	ID Muestra	Ancho (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Energía absorbida (J)	Tenacidad (J/mm ²)
Tubería	C1	8,6	10	66	208	3.16
	C2	8,6	10	66	178	2.7
	C3	8,6	10	66	217	3.28
Promedio					201	3.05
Soldadura longitudinal camisa	C4	9,6	10	76	158	2.07
	C5	9,6	10	76	57	0.74
	C6	9,6	10	76	105	1.38
Promedio					106.6	1.4
Camisa	C7	9,6	10	76	255	3.36
	C8	9,6	10	76	245	3.23
	C9	9,6	10	76	233	3.08
Promedio					244.3	3.22

Tabla 7. Resultados de tenacidad obtenidos mediante prueba de impacto charpy

Se observa un promedio de tenacidad en el cuerpo de la tubería de 2,51 (J/ mm²). Al comparar los resultados de tenacidad del cuerpo de la camisa y la soldadura longitudinal se evidencia una disminución del 56,52% en esta última, lo cual se puede atribuir a la falta de penetración evidenciada en la raíz de la soldadura.

2.2.5.11 Morfología de daño

2.2.5.11.1 Microscopía óptica

2.2.5.11.1.1 Estudio de propagación de grieta

La zona con presencia de grieta en el cordón longitudinal de la camisa se seccionó mediante 7 cortes equidistantes en 8 partes, con el fin de evidenciar la morfología

de propagación de la grieta, así como su origen, para lo cual se prepararon mediante desbaste, las paredes transversales de cada una de las secciones.

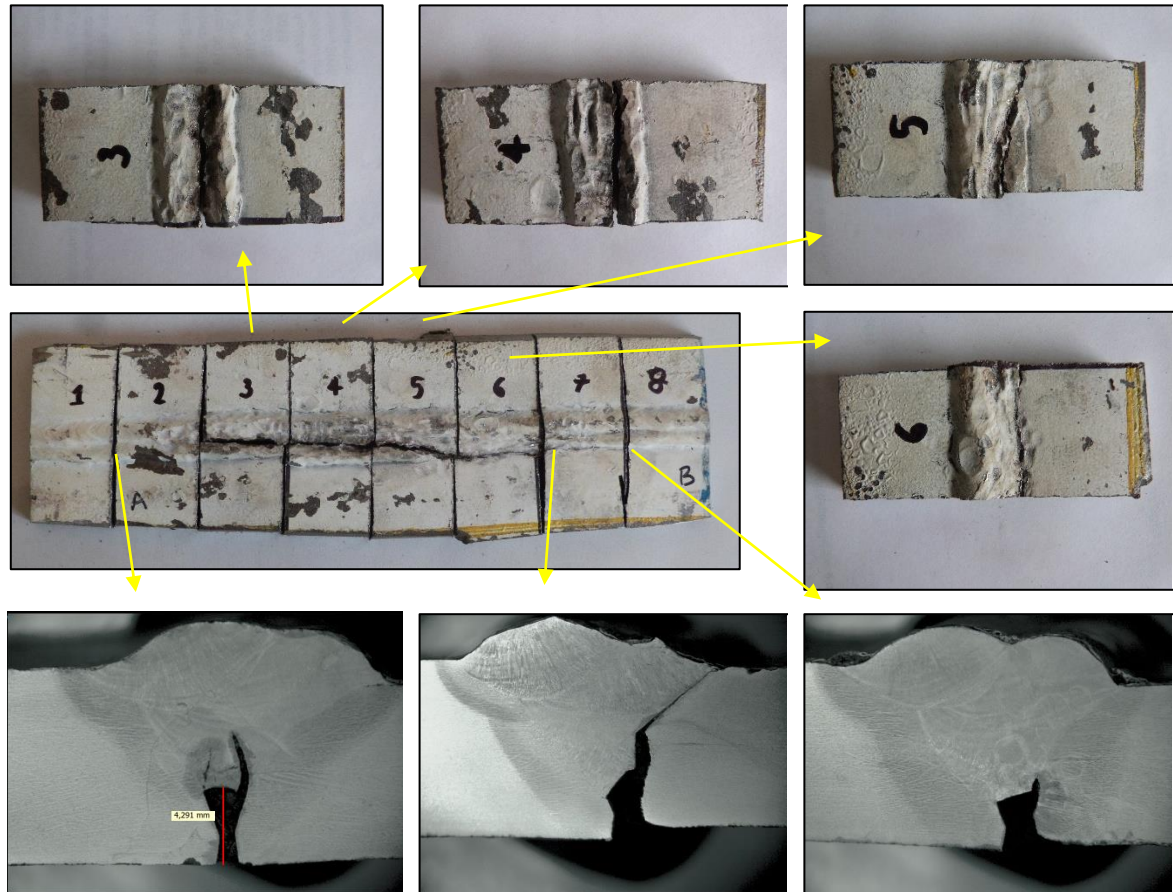


Figura 19. Propagación transversal de la grieta

Luego de observar las paredes transversales de las diferentes secciones extraídas de la junta soldada, se aprecian diferentes morfologías de propagación en la grieta, sin embargo, el origen de esta es muy claro y corresponde a los vértices resultantes de la falta de penetración del metal de aporte.

La grieta se propaga inicialmente a través del metal de aporte de forma perpendicular a la tubería y posteriormente cambia de dirección hacia el “pie” de la soldadura hasta emerger a la superficie.

La altura máxima medida de la falta de penetración en la sección transversal fue de 4,29 mm, que corresponde al 44.46% del espesor de la camisa, así mismo se evidenció transversalmente el talón del bisel que se encuentra intacto, igualmente se aprecia desalineamiento de la junta.

2.2.5.11.1.2 Superficies de fractura

En las superficies de fractura se logran evidenciar varias zonas en las que existe una variación de textura superficial, en la parte inferior se evidencia de manera clara el talón de la junta soldada, así como parte del bisel, zonas en las cuales se aprecian líneas rectas generadas durante el mecanizado de la superficie.

En la zona de fractura también se observan diferentes tonos y coloraciones, las cuales se generan muy probablemente debido a las variaciones en la velocidad de propagación de la grieta, lo que permite asumir que el avance del defecto fue progresivo.

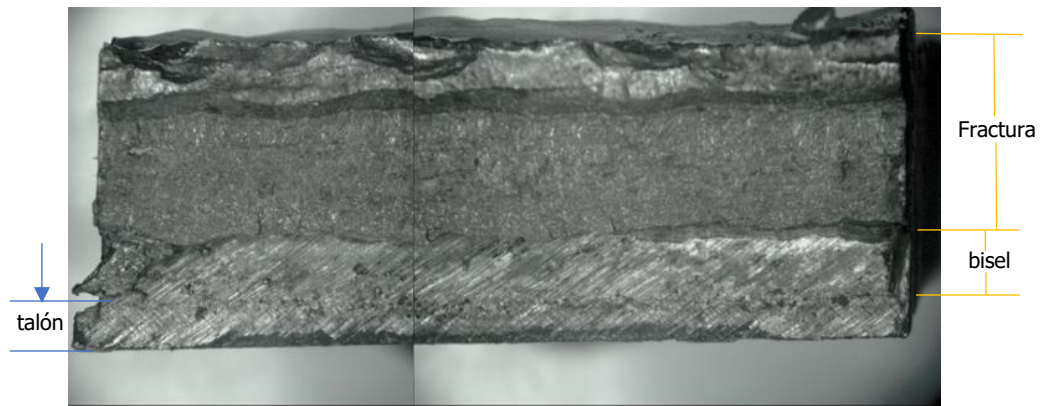


Figura 20. Superficie de fractura sección 3



Figura 21. Superficie de fractura sección 4

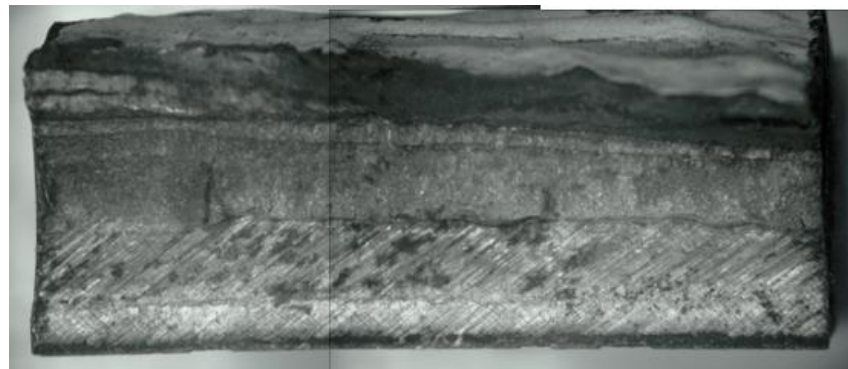


Figura 22. Superficie de fractura sección 5

2.2.5.11.2 Composición y dureza de la junta soldada

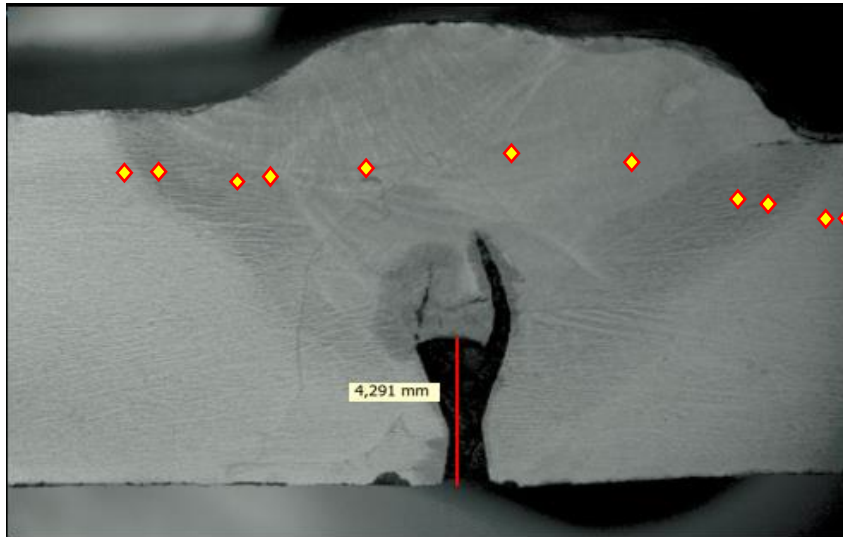


Figura 23. Esquema del perfil de micro durezas en la sección transversal

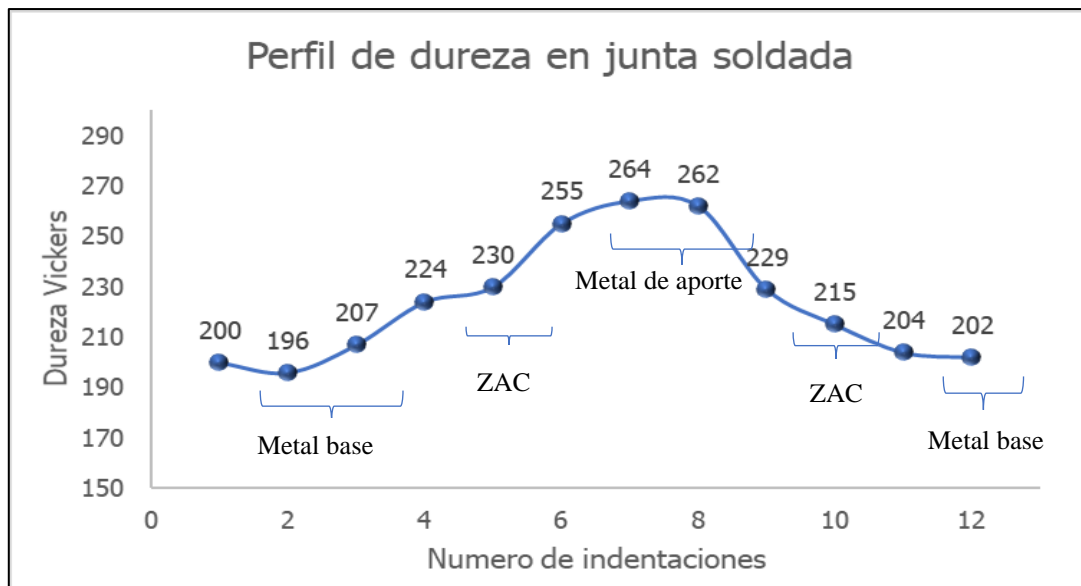


Figura 24. Perfil de Micro dureza

Muestra	% C	%Si	%Mn	%Ni	%P	%Cr	%Mo	%S
Metal de aporte	0.0749	0.366	1.11	0.0308	0.0190	0.0403	0.005	0.0202

Tabla 8. resultados de composición química metal de aporte

El perfil de Micro dureza obtenido en la pared transversal de la zona con presencia de grieta presenta el comportamiento típico de juntas soldadas.

2.2.6 Diagnóstico de falla

Una vez determinadas las propiedades químicas y mecánicas del material de la sección de tubería y camisa, estas se contrastaron con las especificaciones disponibles evidenciándose que los materiales cumplen con los requerimientos de API 5L.

Como referencia para el estudio se tomó el procedimiento VIT-GTA-P-317 “Reparación mecánica mediante camisas tipo B”, encontrando que la camisa tipo B del sistema de transporte de hidrocarburos no cumple con una de las especificaciones de dicho procedimiento, ya que no posee láminas de respaldo o “backing” en las juntas longitudinales, acción que se recomienda para evitar la penetración del electrodo durante el montaje de este tipo de refuerzos.

Durante la inspección visual y posterior al retiro de la camisa, se evidenció una falta de penetración en la raíz en soldadura longitudinal que estaba identificada con presencia de la falla (grieta), así como en el condón longitudinal opuesto a este (cordón 2).

Durante la observación transversal de la propagación de grieta, se aprecia que esta se desplazó inicialmente a través del metal de aporte y en dirección perpendicular al eje de la tubería y posteriormente cambia de dirección hacia el “pie” del cordón debido a que en esta dirección es menor la distancia para emerger a la superficie. Finalmente se concluye que la falla de la junta soldada de la camisa tipo B en el sistema de transporte de hidrocarburos ocurrió como consecuencia de la falta de

penetración resultante del mal proceso de soldadura durante la instalación de la camisa.

Al presentarse la falta de penetración, se genera una disminución en el área efectiva de la junta reduciendo su resistencia, lo que se evidencia en las pruebas de tensión y de impacto charpy realizadas. Además, la morfología resultante en el cordón inferior de la junta con vértices agudos actúa como concentrador de esfuerzos facilitando la generación y propagación de grietas.

2.3 PLAN DE ACCIÓN

Una vez identificado origen y demás eventos que originaron la falla en la camisa tipo B en el sistema de transporte de hidrocarburos, la falta de penetración en las soldaduras longitudinales, lo siguiente es implementar el plan de mantenimiento basado en condición soportado en técnicas no destructivas, para prevenir ocurrencia de fallas futuras en reparaciones mecánicas en servicio del sistema de tuberías para transporte de hidrocarburos.

2.3.1 Reparaciones mecánicas con probabilidad de falla

Identificación de reparaciones mecánicas en servicio instaladas en el sistema de transporte de hidrocarburos por el mismo personal e igual periodo de tiempo a la que presentó la falla.

2.3.2 Inspección camisas en servicio

Inspección mediante ensayos no destructivos a las reparaciones mecánicas camisas tipo B identificadas, por ultrasonido es posible evidenciar la falta de penetración y ausencia de platina de respaldo en las soldaduras longitudinales de estas reparaciones.

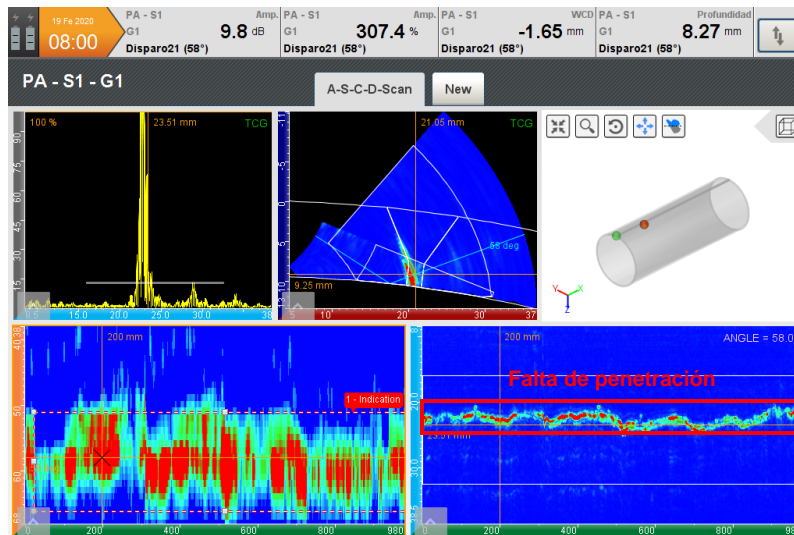


Figura 25. Ilustración de falta de penetración en soldadura longitudinal mediante ultrasonido.

2.3.3 Reparación camisa tipo B en servicio

Toda camisa tipo B en servicio en el sistema de transporte de hidrocarburos se realiza como medida preventiva reparación de esta mediante camisa tipo puente o sobre anillos.

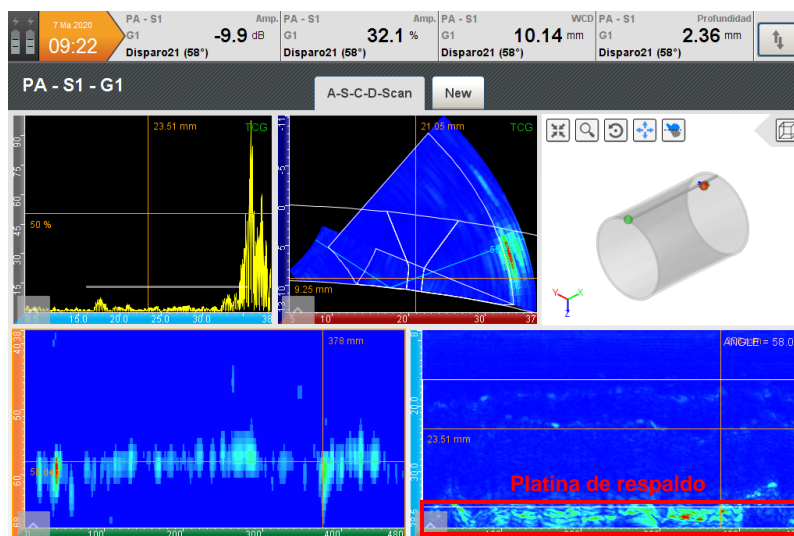


Figura 26. Ilustración de soldadura longitudinal de camisa tipo B sin indicaciones

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

3.1.1 Caracterización de materiales

Mediante análisis químico elemental y los ensayos de tensión, se determinó que el material de la sección de tubería cumple con los requerimientos estipulados en API 5L para un acero PSL2 grado X56.

Según los resultados de composición química y tensión, realizados al material de la camisa tipo B, permiten establecer que dicho material cumple con lo descrito en API 5L para un acero PSL2 grado X65, lo cual cumple con lo descrito en el documento “procedimiento para la reparación de anomalías en tuberías en servicio mediante instalación de camisas tipo B”.

Los resultados de impacto charpy, en las probetas extraídas de la soldadura longitudinal evidencian una disminución en la tenacidad 55.73% aproximadamente, con el respecto a los resultados del cuerpo de la camisa, debido a la falta de fusión presente en el cordón de análisis.

3.1.2 Diagnóstico de daño

La falla de la junta soldada de la camisa tipo B en el sistema de transporte de hidrocarburos ocurrió como consecuencia de la falta de penetración resultante del mal proceso de soldadura durante su instalación.

La falta de penetración genera una discontinuidad con zonas de ángulo agudo entre el metal de aporte y la cara del bisel, que actúan como concentradores de tensiones, facilitando la incubación de fisuras.

La falta de penetración genera una disminución en el área efectiva de la junta soldada reduciendo su resistencia, lo que se evidencia en las pruebas de tensión y de impacto charpy

3.2 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que la falta de penetración fue evidenciada en las dos juntas longitudinales de la camisa del sistema de transporte de hidrocarburos, se recomienda verificar la integridad de las juntas longitudinales en las existentes en servicio instaladas bajo el mismo procedimiento y por el mismo personal.

Teniendo en cuenta la inexistencia de “backing” en las juntas longitudinales analizadas hasta ahora, lo que haría inviable el mecanizado y reparación de la junta, se recomienda como medida preventiva la instalación de una nueva camisa sobre anillos, en aquellos puntos en donde se evidencie la falta de penetración en los cordones longitudinales como se evidenció en el presente informe, previa inspección mediante ensayos no destructivos.

Garantizar la correcta aplicación y ejecución de los procedimientos diseñados para la instalación de camisas tipo B.

BIBLIOGRAFIA

<https://prezi.com/elw9hvtt5ypx/oleoductos-gasoductos-y-poliductos/>

<http://www.renovetec.com/irim/252-MANTENIMIENTO-BASADO-EN-CONDICION>

<http://ipend.es/ensayos-no-destructivos/inspeccion-visual-vt>

ASME B31.4-2016 (Revision of ASME B31.4-2012) Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries

VIT-GTA-P-317 Procedimiento para la reparación de anomalías en tuberías en servicio mediante instalación de camisas tipo B. Transporte y logística de hidrocarburos gerencia técnica de activos Ecopetrol.

ASTM E3: Standard Guides for Preparation of Metallographic Specimens.

ASTM E384: Standard test method for knop and Vickers hardness of materials.

ASTM A370: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.

ASTM E140: Standard Harness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness.

ASTM E1417: Standard Practice for Liquid Penetrant Testing.

ASTM E 1742: Standard Practice for Radiographic Examination.

ASTM E1444: Standard Practice for Magnetic Particle Testing.

ASTM E112: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.

ASTM E8: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

ASTM E23: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials

ASTM E415: Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel.

API 5L: Specification for Line Pipe.